

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Tukarić

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**UREĐAJ ZA PRAĆENJE PARAMETARA
RADA ZRAKOPLOVNOG KLIPNOG
MOTORA**

Mentori:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić, dipl. ing.

Student:

Ivan Tukarić

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Zoranu Luliću, dipl. ing. stroj. na pruženoj pomoći, savjetima i vremenu utrošenom tijekom izrade ovog rada te doc. dr. sc. Aniti Domitrović na pomoći pri prikupljanju informacija korištenih u ovom radu. Zahvaljujem se i svojoj obitelji i djevojci na potpori tijekom studija.

Ivan Tukarić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija zrakoplovstva



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Ivan Tukarić**

Mat. br.: 0035195485

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Uređaj za praćenje parametara rada zrakoplovnog klipnog motora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Engine Data Management Device for Aircraft Reciprocating Engine**

Opis zadatka:

Praćenje načina rada pogonskog motora zrakoplova odnosno načina njegove eksploatacije daje brojne informacije na osnovu kojih se mogu donijeti zaključci o stvarnim resursima motora. U uobičajenoj praksi resursi motora se procjenjuju temeljem dugogodišnjih statističkih podataka obrađenih od strane proizvođača motora odnosno zrakoplova te uglavnom daju dobre i pouzdane rezultate. S druge strane, danas se svaki od sustava i postupaka pokušava što je moguće bolje optimirati te su točni podaci iz stvarnih uvjeta uporabe od iznimne važnosti. Osim toga, pomoću takvih podataka moguće je odrediti tipične načine uporabe motora a i zrakoplova što otvara mogućnosti za određivanje točnijih procjena načina rada motora kao i njegovih emisija. Cilj rada je razmotriti mogućnosti nabave, ugradnje, prikupljanja podataka te obrade prikupljenih podataka o eksploatacijskim parametrima zrakoplovnog klipnog motora

U okviru završnog rada potrebno je:

- Ukratko opisati ključne parametre rada zrakoplovnog klipnog motora.
- Opisati mjerne instrumente u pilotskoj kabini za praćenje rada motora.
- Napraviti pregled tržišta uređaja za prikupljanje podataka o parametrima rada zrakoplovnog klipnog motora kao što je EDM 800 ili sličan prijenosni uređaj.
- Proučiti regulatorne zahtjeve za ugradnju uređaja. Ukoliko je uređaj odobren od strane EASA (*EASA approved*), može li ga ugraditi organizacija odobrena za održavanje (*PART 145*) ili se ugradnja mora obaviti organizaciji odobrenoj za projektiranje i modifikacije zrakoplova (*PART 21*), odnosno mora li se nakon ugradnje izdati dodatak potvrdi o sukladnosti (*Supplement Type Certificate*)?
- Opisati proceduru nabave uređaja s ciljem ugradnje u zrakoplov namijenjen za obuku pilota
- Proučiti zahtjeve i postupak ugradnje uređaja te ga opisati. Postupak popratiti odgovarajućim skicama, shemama, dijagramima toka te eventualno dostupnim fotografijama.
- Ukoliko vremenski rok izrade završnog rada bude dopuštao, opisati način prikupljanja podataka tijekom leta te njihov prijenos na druge uređaje i prikaz prvih rezultata.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
30. studenog 2017.

Rok predaje rada:
1. rok: 23. veljače 2018.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
3. rok: 21. rujna 2018.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Smojver

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. Ključni parametri rada zrakoplovnog klipnog motora.....	2
2.1. Temperatura glave cilindra (engl. <i>Cylinder Head Temperature</i> , CHT).....	2
2.2. Temperatura ispušnih plinova (engl. <i>Exhaust Gas Temperature</i> , EGT).....	2
2.3. Temperatura zraka na ulazu u turbinu (engl. <i>Turbine Inlet Temperature</i> , TIT)	4
2.4. Temperatura okolišnog zraka (engl. <i>Outside Air Temperature</i> , OAT).....	4
2.5. Tlak punjenja (engl. <i>Manifold Absolute Pressure</i> , MAP).....	4
2.6. Temperatura ulja (engl. <i>Oil Temperature</i>).....	5
2.7. Tlak ulja (engl. <i>Oil Pressure</i>).....	5
2.8. Brzina vrtnje motora (engl. <i>Revolutions Per Minute</i> , RPM)	6
2.9. Protok goriva (engl. <i>Fuel-flow</i> , FF)	7
3. Mjerni instrumenti u pilotskoj kabini za praćenje rada zrakoplovnog klipnog motora.....	8
3.1. Termometri.....	11
3.2. Mjerač količine goriva (MKG)	14
3.3. Tlakomjeri.....	15
3.4. Protokomjer goriva.....	16
3.5. Tahometar	18
3.6. Ampermetar.....	20

4. Uređaji za praćenje parametara rada zrakoplovnih klipnih motora.....	21
4.1. Pregled tržišta.....	22
4.1.1. J. P. Instruments (JPI)	23
4.1.2. Grand Rapids.....	24
4.1.3. Insight.....	25
5. Regulatorni zahtjevi za ugradnju uređaja EDM-800	26
6. Postupak ugradnje uređaja EDM-800.....	28
6.1. Indikator	29
6.2. Senzor za mjerenje temperature ispušnih plinova.....	30
6.3. Senzor za mjerenje temperature na ulazu u turbinu turbopunjača	31
6.4. Senzor za mjerenje temperature glave cilindra	32
6.5. Senzor za mjerenje temperature zraka u usisniku	33
6.6. Senzor za mjerenje temperature ulja – oznaka -C ili -L.....	33
6.7. Senzor za mjerenje tlaka ulja	35
6.8. Senzor za mjerenje temperature okolišnog zraka.....	36
6.9. Senzor za mjerenje tlaka u usisnoj cijevi	37
6.10. Senzor za mjerenje brzine vrtnje motora	38
6.11. Protokomjer goriva.....	39
7. Prikupljanje i interpretacija podataka	40
ZAKLJUČAK.....	46
LITERATURA.....	47

POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage i specifične potrošnje goriva o mješavini [1]..	3
Slika 2.2.	Prikaz brzinske karakteristike motora pri punom opterećenju [1]	6
Slika 3.1.	Upravljačke ploče zrakoplova Cessna 172.....	9
Slika 3.2.	Shematski prikaz pozicija skupina zrakoplovnih instrumenata na upravljačkoj ploči zrakoplova Cessna 172	9
Slika 3.3.	Lijevo: prstenasti davač. Desno: štapićasti davač [8].....	11
Slika 3.4.	Shematski prikaz mjesta ugradnje senzora CHT i EGT temperature [4]	11
Slika 3.5.	Mjesta ugradnje termometara (Žutom strelicom označeno je mjesto ugradnje EGT termometara, a crvenom CHT termometra)	12
Slika 3.6.	Princip rada bimetalnog termometra [5].....	12
Slika 3.7.	Lijevo: analogni EGT prikaznik. Desno: analogni prikaznik EGT i FF [6].....	13
Slika 3.8.	Indikator mjerača količine goriva [7]	14
Slika 3.9.	Analogni prikaznici tlaka i temperature ulja [7].....	16
Slika 3.10.	Shema rada centrifugalnog tahometra [8]	18
Slika 3.11.	Prikaznik tahometra	19
Slika 3.12.	Prikaznik ampermetra.....	20
Slika 4.1.	Lijevo: prikaznik uređaja EDM-900. Desno: prikaznik uređaja EDM Classic Scanner [9].....	22
Slika 4.2.	Izgled uređaja EDM-800 [9]	23
Slika 4.3.	Prikaznik uređaja GRT EIS [10]	24
Slika 4.4.	Uređaj EI CGR-30 [10]	25
Slika 6.1.	Prikaznik uređaja EDM-800 [9]	29
Slika 6.2.	Pravilan način ugradnje EGT senzora	30
Slika 6.3.	Prikaz mjesta ugradnje senzora za mjerenje temperature na ulazu u turbinu [4]..	31
Slika 6.4.	Mjesto ugradnje davača CHT termometra na svjećicu [14].....	32
Slika 6.5.	Shematski prikaz mjesta ugradnje CDT i IAT senzora	33

Slika 6.6. Mjesta ugradnje senzora za mjerenje temperature ulja, prikazana na motorima proizvođača Lycoming i Continental [4].....	34
Slika 6.7. Shema sustava za mjerenje tlaka ulja [4]	35
Slika 6.8. Shematski prikaz instalacije sonde za mjerenje	36
Slika 6.9. Instalacija senzora za mjerenje MAP-a [4]	37
Slika 6.10. Računanje "MP faktora" za kalibraciju MAP senzora [4].....	37
Slika 6.11. Ugradnja RPM senzora ovisno o vrsti ugrađenih magneta [4].....	38
Slika 6.12. Uputa za ugradnju pretvornika protoka goriva [4]	39
Slika 7.1. Prikaz početnog sučelja programa "EzTrends" [15]	41
Slika 7.2. Sučelje na kojem se vrši izbor seta informacija za analizu [15].....	41
Slika 7.3. Dijagram promjene "MAIN" skupine parametara motora tijekom eksploatacije [15]	42
Slika 7.4. Dijagram promjene „OPTION“ skupine parametara motora tijekom eksploatacije [15]	43
Slika 7.5. Simulator programa EzTrends2, sa sučeljem uređaja EDM-700 [15]	44
Slika 7.6. Izgled ispisa dijela podataka prikupljenih uređajem EDM-900 [15]	44
Slika 7.7. Pregled vrijednosti parametara analiziranog leta [15].....	45

POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Emisijski faktori CO ₂ po tipu goriva [2]	7
Tablica 6.1. Prikaz broja komponenti uređaja EDM-800 [3]	28

POPIS KRATICA

Kratika	Značenje	Izvorni naziv
CHT	temperatura glave cilindra	<i>Cylinder Head Temperature</i>
OAT	temperatura okolišnog zraka	<i>Outside Air Temperature</i>
EGT	temperatura ispušnih plinova	<i>Exhaust Gas Temperature</i>
TIT	temperatura na ulazu u turbinu	<i>Turbine Inlet Temperature</i>
MAP	apsolutni tlak punjenja	<i>Manifold Absolute Pressure</i>
RPM	brzina vrtnje	<i>Revolutions Per Minute</i>
TAT	ukupna temperatura zraka	<i>Total Air Temperature</i>
FF	protok goriva	<i>Fuel Flow</i>
MKG	mjerač količine goriva	Mjerač Količine Goriva
MPR	tlak punjenja	<i>Manifold Pressure Ratio</i>
FAA	Savezna uprava za civilno zrakoplovstvo	<i>Federal Aviation Administration</i>
TSO	potvrda minimalne tehničke ispravnosti	<i>Technical Standard Orders</i>
EASA	Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost	<i>European Aviation Safety Agency</i>
TC	certifikat tipa	<i>Type Certificate</i>
STC	dodani certifikat tipa	<i>Supplemental Type Certificate</i>
ACO	Ured za certificiranje zrakoplova	<i>Aircraft Certification Office</i>
ECTM	praćenje promjena stanja motora	<i>Engine Condition Trend Monitoring</i>
CDT	temperatura na izlazu iz kompresora	<i>Compressor Discharge Temperature</i>
IAT	temperatura u usisniku	<i>Induction Air Temperature</i>
CRB	temperatura u rasplinjaču	<i>Carburetor</i>

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je izraditi pregled praćenja parametara zrakoplovnih motora i novih metoda koje je moguće uvesti instalacijom jedinstvenog sustava za praćenje radnih parametara motora.

Drugo poglavlje fokusira se na same parametre koji se prate i njihovu važnost tijekom i nakon eksploatacije.

Treće poglavlje prolazi kroz najvažnije instrumente koji se koriste za praćenje parametara rada motora, objašnjavajući ukratko njihov način rada.

U četvrtom poglavlju objašnjen je koncept uređaja i kratki opis stanja tržišta uređaja za praćenje rada motora, uz pogled na neke karakteristične primjere takvih uređaja odabranih proizvođača.

Peto poglavlje bavi se regulatornim zahtjevima koji se postavljaju novim korisnicima i odgovara na pitanje kako korištenje opisanih uređaja utječe na kontinuiranu plovidbenost zrakoplova.

Šesto poglavlje fokusira se na jedan odabrani uređaj i pokriva upute za ugradnju pripadajućih senzora.

Sedmo poglavlje daje uvid u tip i obradu podataka dobivenih tijekom eksploatacije uporabom odabranog uređaja. Opisan je postupak prikupljanja podataka i mogućnosti koje pruža pravilna obrada istih.

Ključne riječi:

klipni motor, zrakoplovni instrumenti, uređaj za praćenje radnih parametara motora

SUMMARY

The purpose of this thesis is to form an overview on the current state of aircraft engine parameter tracking and the new methods that can be introduced by installing a unified engine parameter monitoring system.

The second chapter focuses on the tracked parameters themselves and their importance during and after exploitation.

The third chapter demonstrates the most important engine instruments, briefly illustrating their method of operation.

The fourth chapter offers a concept of a device and a short description of the engine parameter monitoring device market, with a glimpse at some characteristic examples of devices by chosen manufacturers.

The fifth chapter deals with regulatory demands required of new users and answers the question how the installation of these devices affects the continued airworthiness of an aircraft.

The sixth chapter focuses on one chose device and covers instructions for installation of related probes.

The seventh chapter gives insight into the type and processing of data collected during exploitation by use of said device. The data gathering procedure is described, alongside the possibilities offered by the correct handling of said data.

Key words:

piston engine, aircraft instruments, piston engine operating parameters monitoring device

1. UVOD

Praćenje radnih parametara zrakoplovnih motora bitno je u nekoliko različitih faza, kako tijekom, tako i nakon eksploatacije zrakoplova. Kako bi se osiguralo pravilno rukovanje motorom zrakoplova i stekao uvid u stanje istog, od krucijalne važnosti su sustavi za praćenje radnih parametara motora. Ovom sustavu se pridaje osobita važnost pri provođenju analize eksploatacije, kako od strane osoblja zaduženog za održavanje, tako i od osoba fokusiranih na utjecaj eksploatacije na okoliš. Pravilna uporaba informacija dobivenih od sustava za praćenje parametara rezultira pravilnom uporabom cijelog sustava, imajući direktan utjecaj na sam život sustava.

Postojeći instrumenti mogu se nazvati „klasičnim“ sustavima za praćenje parametara, dok naziv „modernih“ sustava pripada uređajima koji objedinjuju više raznovrsnih funkcija u svrhu praćenja parametara motora.

Analizom koja je provedena u okviru ovog završnog rada, cilj je bio pružiti uvid u pozitivne promjene postignute ugradnjom modernog sustava za praćenje radnih parametara motora. Prva od tih promjena je okupljanje svih informacija u jednu preglednu cjelinu kako bi se pilotu omogućilo efikasno praćenje relevantnih parametara pogonske skupine. Druga je detaljno bilježenje svih podataka o radu motora, što rezultira optimizacijom i boljim održavanjem motora.

U daljnjem tekstu bitno je imati na umu da je završni rad započet kao potpora projektu nabave modernog sustava za praćenje rada motora (uređaj EDM-800) i njegove ugradnje u zrakoplov Cessna 172-R, reg. oznake 9A-DAD, proizveden 1997. godine. Kao pogonski sustav na ovom zrakoplovu koristi se motor Lycoming IO-360-L2A. Motor je četverocilindarski, bokser, s ubrizgavanjem goriva i hlađen zrakom.

2. Ključni parametri rada zrakoplovnog klipnog motora

Klipni motori su toplinski strojevi s unutrašnjim izgaranjem koji kemijsku energiju goriva pretvaraju u mehanički rad. U sustav dovedeni zrak miješa se s gorivom, a visoka temperatura i tlak nastali izgaranjem pomiču klipni mehanizam tako okretajući koljenasto vratilo.

Parametri rada zrakoplovnog klipnog motora opisani u ovom poglavlju ističu se kao bitni kako pilotu tijekom eksploatacije zrakoplova, tako i tehničarima zaduženima za održavanje motora. Cilj ovog poglavlja je objasniti njihovu funkciju i važnost.

2.1. Temperatura glave cilindra (engl. *Cylinder Head Temperature, CHT*)

Ovisno o vrsti izabranog termometra, temperatura glave cilindra može se mjeriti ili neposredno ispod svjećica, ili između rashladnih rebara motora. Izmjerena vrijednost CHT-a govori o toplinskom opterećenju kojem je izvrnut cilindar, a posebno je bitna promjena vrijednosti CHT-a između takta kompresije i takta ekspanzije kad su vrijednosti tlaka i temperature najviše.

Standardne vrijednosti CHT su 177 °C (350 °F) uz temperaturu okolišnog zraka (engl. *Outside Air Temperature, OAT*) od 15 °C (60 °F), ili 210 °C (410 °F) za motore s prednabijanjem. [4]

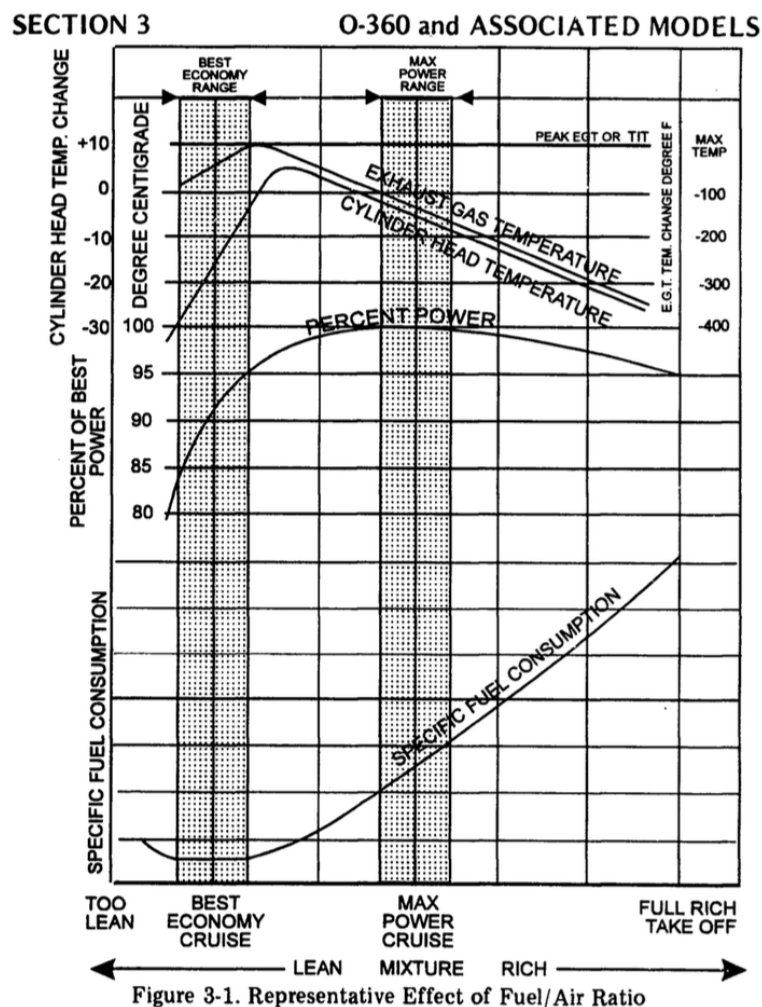
Maksimalna dopuštena temperatura glave cilindra određena je preporukama postavljenima od proizvođača motora Lycoming i Continental. Preporuke su povezane s ograničenjima materijala od kojeg su izrađeni cilindar i klip - ukoliko se zbog smanjene mase i dobrog toplinskog provođenja koristi neka od Al-legura, CHT ne smije postići 400 °C jer Al-legure pri toj i višim temperaturama ubrzano gube čvrstoću, što može dovesti do pojave pukotina ili loma klipa i kućišta. [1]

2.2. Temperatura ispušnih plinova (engl. *Exhaust Gas Temperature, EGT*)

Ovisno o veličini motora, EGT se mjeri pomoću jednog (za manje motore) ili više senzora u ispuhu kako bi se dobila točnija srednja vrijednost temperature.

EGT se koristi za određivanje bogatstva smjese, jer ovisi o omjeru zraka i goriva u smjesi, a lako se mjeri. Ta veza vidljiva je na slici (Slika 2.1.). Porast vrijednosti EGT sa osiromašivanjem smjese povezan je s gubitkom efekta hlađenja koji se pojavljuje zbog viška goriva u smjesi. Tijekom izgaranja višak goriva mijenja agregatno stanje na što se troši dio energije od izgaranja, pa se ta energija ne prenosi na cilindar ili ispušne plinove. Određivanjem maksimalne vrijednosti EGT i pripadajućeg bogatstva smjese, pilot dobiva referentnu vrijednost pomoću koje postavlja režim rada motora.

Uobičajene vrijednosti EGT-a su između 730 °C i 840 °C (1350 °F i 1550 °F) pri krstarenju, tj. između 590 °C i 675 °C (1100 °F i 1250 °F) pri polijetanju. S obzirom na relativno velike razlike u vrijednostima EGT-a u različitim režimima leta, uređaji za praćenje rada motora često mjere razliku između najviše i najniže EGT, tzv. „DIF“ parametar, kojemu su normalne vrijednosti od 20 °C do 32 °C (70 °F do 90 °F) za motore s ubrizgavanjem goriva i od 48 °C do 65 °C (120 °F do 150 °F) za motore s rasplinjačem. Kritična vrijednost DIF parametra je 280 °C (500 °F). [4]



Slika 2.1. Prikaz ovisnosti CHT, EGT, snage i specifične potrošnje goriva o mješavini [1]

2.3. Temperatura zraka na ulazu u turbinu (engl. *Turbine Inlet Temperature*, TIT)

TIT je parametar koji se pojavljuje samo kod motora s prednabijanjem. Struja ispušnih plinova koristi se za pokretanje turbine koja tada pogoni kompresor turbopunjača.

Standardne vrijednosti TIT-a su oko 870 °C (1600 °F), što je za otprilike 60 °C više od EGT-a. Razlika se pojavljuje zbog gubitka energije ispušnih plinova tijekom prolaska kroz turbinu. Maksimalna vrijednost TIT-a je oko 900 °C (1650 °F), gdje je ograničenje postavljeno materijalom od kojeg su izrađene komponente turbine. [4]

2.4. Temperatura okolišnog zraka (engl. *Outside Air Temperature*, OAT)

Temperatura okolišnog zraka pojavljuje se kao bitan parametar u mnogim izračunima performansi i planiranju leta.

Pri većim brzinama leta, promjena brzine zraka pri ulasku u mjerni instrument može izazvati porast temperature zraka, pretvorbom kinetičke u unutarnju energiju. Dobivena vrijednost temperature naziva se „ukupna temperatura zraka“ (engl. *Total Air Temperature*, TAT) i mora se umanjiti za određeni faktor kako bi se dobila statička temperatura zraka, tj. OAT. Veza između statičke i totalne temperature dana je jednadžbom

$$\frac{T_{total}}{T_{static}} = 1 + \frac{\kappa - 1}{2} * M_a^2$$

gdje su T_{total} i T_{static} totalna i statička temperatura zraka, M_a je Machov broj (omjer stvarne brzine i brzine zvuka), a κ je adijabatski koeficijent zraka. [5]

2.5. Tlak punjenja (engl. *Manifold Absolute Pressure*, MAP)

MAP je razlika tlaka između okoliša i usisne cijevi. Funkcija je podtlaka koji stvara gibanje klipova tijekom takta usisa, otvorenosti zaklopke rasplinjača i stanja okoliša. MAP je u direktnoj vezi s količinom zraka koja ulazi u sustav pa je bitan podatak za određivanje režima leta aviona.

Parametri MAP i RPM su dovoljni za određivanje snage aviona na zadanoj visini leta, uz eventualnu korekciju zbog razlike temperature okolišnog zraka od standardne.

2.6. Temperatura ulja (engl. *Oil Temperature*)

Ulje, tj. mazivo, ima nekolicinu iznimno važnih zadaća u motoru. Ono podmazuje i sprječava kontakt dvaju površina, hladi, brtvi, čisti motor i štiti ga od korozije. O temperaturi ulja ovisi viskoznost, a o viskoznosti maziva svojstva ulja, pa ju je potrebno držati u relativno uskom rasponu vrijednosti. To se postiže korištenjem regulatora temperature ulja i hladnjaka ulja, koji za ispravno funkcioniranje zahtijevaju točnu vrijednost trenutne temperature ulja.

Normalna temperatura ulja iznosi oko 90 °C (200 °F), a minimalne i maksimalne temperature su 32 °C (90 °F), odnosno 110 °C (230 °F). [4]

2.7. Tlak ulja (engl. *Oil Pressure*)

Tlačna uljna pumpa služi za stvaranje toka ulja za podmazivanje prvo kroz pročišćivač ulja, a onda u ostatak motora kako bi dospjelo do svih mjesta podmazivanja. Zato je potrebno generirati dovoljan tlak kako bi se ulje kretalo kroz sustav. Taj se tlak smanjuje od viših vrijednosti za vrijeme zagrijavanja motora i ulja do nižih vrijednosti kad ulje poprimi radnu temperaturu.

Standardni tlak ulja iznosi između 4,13 bar (60 PSI) i 6,20 bar (90 PSI). Vrijednost tlaka ulja ne smije pasti ispod vrijednosti od 1,37 bar (20 PSI). [4]

2.8. Brzina vrtnje motora (engl. *Revolutions Per Minute, RPM*)

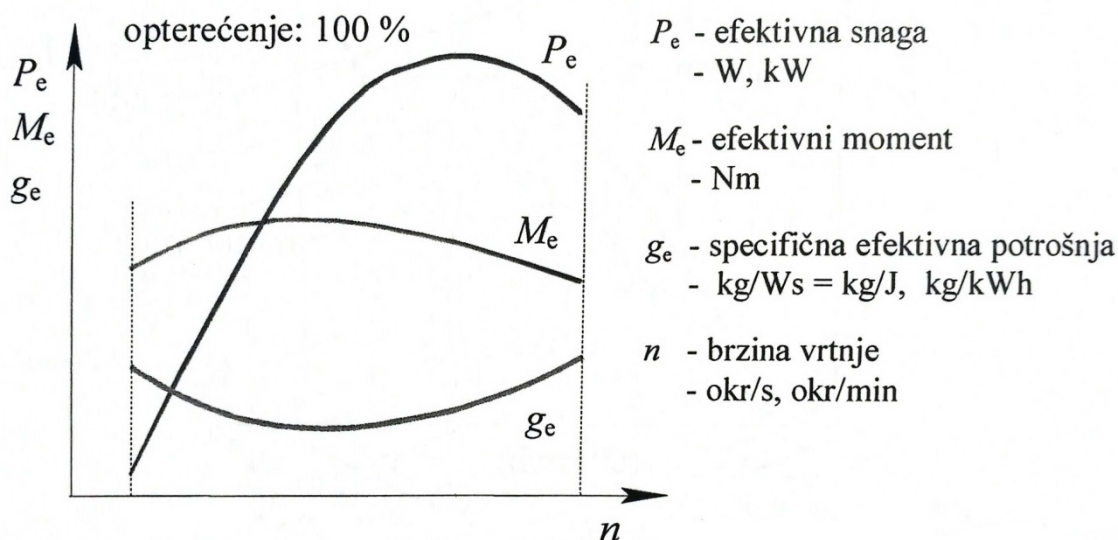
Mjeren tahometrom, RPM parametar pokazuje brzinu vrtnje izraženu brojem okretaja u minuti radilice motora.

Snaga, moment i specifična potrošnja goriva mijenjaju se s brzinom vrtnje pa se nazivaju brzinske karakteristike motora. Izgled brzinske karakteristike motora prikazan je na slici (Slika 2.2.). Radna točka motora određena je zato brzinom vrtnje i snagom ili momentom.

Mnoge provjere stanja pogonske grupe vezane su na određenu vrijednost RPM-a. Tako se provjera magneta radi na 1700 RPM-a i rezultati se uspoređuju s tom vrijednosti, a test pri polijetanju zahtijeva vrijednosti između 2300 i 2400 RPM-a uz zadanu postavku smjese.

Slično, tijekom krstarenja koristi se određeni postotak maksimalne snage zrakoplova, pa se očitani RPM može usporediti s teoretskom vrijednosti navedenom u priručniku za pilote kako bi se osigurao pravilan rad motora.

Maksimalna vrijednost RPM-a ovisi o motoru. To je maksimalna brzina vrtnje koju motor i njegove komponente mogu podnijeti bez pojave oštećenja. Oštećenja su posljedica sila inercije koje su dominantne pri velikim brzinama vrtnje. Vrijednosti za zrakoplovne motore se kreću između 2700 i 3000, a smanjuju se s povećanjem veličine motora. [1]



Slika 2.2. Prikaz brzinske karakteristike motora pri punom opterećenju [1]

2.9. Protok goriva (engl. *Fuel-flow*, FF)

Mjerenje protoka goriva između spremnika goriva i motora uvedeno je kako bi se točnije pratila potrošnja goriva, koju je inače potrebno računati iz trajanja leta i informacije koju daje indikator mjerača količine goriva. Potrošnja goriva bitna je i s ekonomskog, ali i s ekološkog gledišta.

Izgaranje koje se odvija u klipnom motoru može biti potpuno ili nepotpuno, rezultirajući tako stvaranjem različitih spojeva kao što su ugljik IV oksid (CO_2), vodena para (H_2O), sumpor IV oksid (SO_2) ali i dušičnih oksida (NO_x) i ugljik II oksida (CO). Emisije dijela štetnih plinova mogu se smanjiti povećanjem omjera zraka i goriva u smjesi, ali povišenje temperature izgaranja koje se time postiže omogućava stvaranje drugih štetnih spojeva.

Mjerenje protoka, tj. potrošnje goriva omogućava računanje količine produkata korištenjem ili odgovarajućih kemijskih jednadžbi ili eksperimentalno određenih emisijskih faktora. Primjer vrijednosti emisijskih faktora CO_2 za različite tipove goriva dane su u tablici (Tablica 2.1.).

Tablica 2.1. Emisijski faktori CO_2 po tipu goriva [2]

Tip goriva	kg CO_2 po litri
AVGAS	2,20
MOGAS	2,32
Biodiesel	2,50
Diesel	2,70
Kerozin	2,58

Korištenjem emisijskih faktora i potrošnje goriva moguće je napraviti analizu emisija zrakoplova. Proširenjem takve analize korištenjem podataka o letu većeg broja zrakoplova mogu se dobiti vrijednosti emisija na nacionalnoj ili globalnoj razini. Detaljna analiza na razini RH učinjena je u članku „Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia“ [3].

Ukoliko se u uređaj za praćenje protoka goriva unese trenutno stanje goriva u spremnicima, moguće je izračunati vrijeme do potpunog pražnjenja uz trenutnu potrošnju, ukupnu potrošnju goriva te preostalu količinu goriva po spremnicima.

3. Mjerni instrumenti u pilotskoj kabini za praćenje rada zrakoplovnog klipnog motora

Zadaća zrakoplovnih instrumenata je kvalitativno ili kvantitativno prikazivanje fizikalnih veličina, stanja dijelova zrakoplova i relativnih (ili apsolutnih) odnosa u vremenu i prostoru. Kvantitativno prikazivanje podrazumijeva odgovarajući prikaz vrijednosti mjerene fizikalne veličine, a kvalitativno znači jednoznačno prikazivanje stanja sustava ili odnosa nadziranih parametara.

Svaki instrument je veza između mjerenih veličina i korisnika, sastavljena od više funkcionalnih dijelova. Osnovni dijelovi instrumenta su mjerno osjetilo, prijenosni sustav i prikaznik. Bitno je napomenuti da svako mjerenje neke veličine uključuje i određenu grešku zbog smetnji kojima su izloženi dijelovi sustava.

Mjerno osjetilo ili senzor je dio instrumenta koji je u kontaktu s veličinom koja se mjeri. Mora moći prenijeti izmjerenu promjenu mjerene veličine na takav način da se omogući djelovanje ostatka mjernog lanca. Mjerno osjetilo može unijeti pogrešku u sustav svojim principom rada, tako da promijeni energiju mjerene veličine.

Na mjerno osjetilo nastavlja se prijenosni sustav, čija je funkcija povezivanje ostalih dijelova sustava i prijenos mjerne veličine, ali često i prilagodba fizikalnih veličina na izlazu iz mjernog osjetila i na ulazu u prikaznik. Greške prijenosnog sustava mogu se pojaviti i tijekom prijenosa i tijekom pretvorbi mjerne veličine, zbog nesavršenosti korištenih postupaka ili zbog vanjskih utjecaja na sustav.

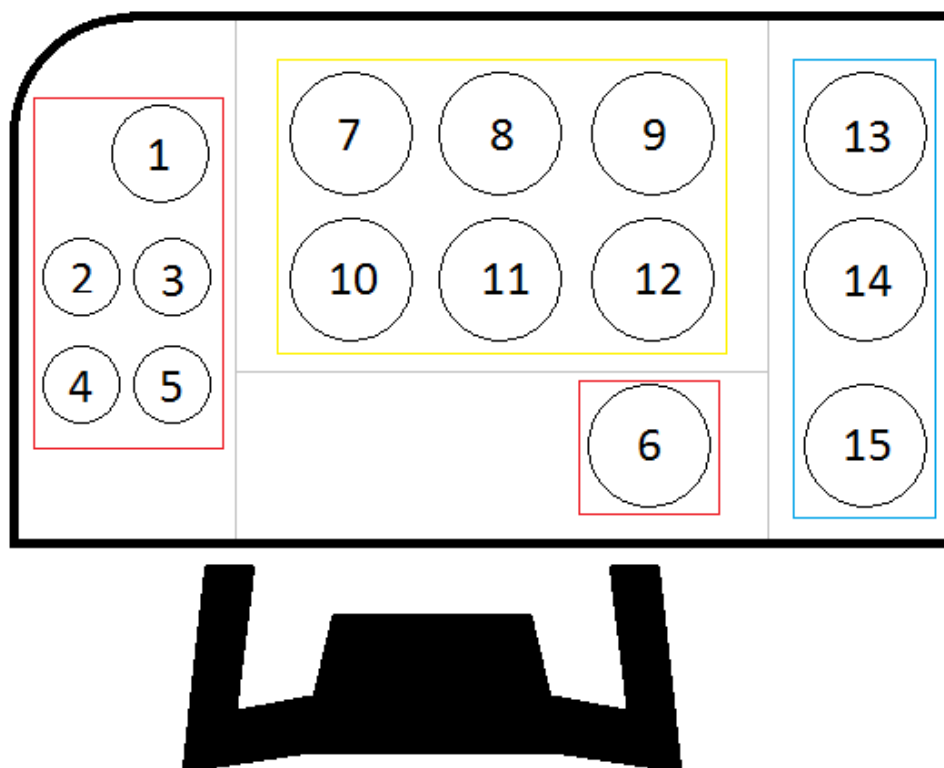
Na kraju mjernog lanca nalazi se prikaznik i/ili sustav za zapisivanje mjerene veličine. Njegova je funkcija omogućiti jednostavno i točno prikazivanje ili zapisivanje podatka o izmjerenoj veličini. Svi prikaznici se smještaju tako da budu dovoljno osvijetljeni i dostupni korisniku za lako i točno očitavanje.

Na slici (Slika 3.1.) prikazane su dvije upravljačke ploče, obje iz zrakoplova Cessna 172, ali različitih godina proizvodnje. Na njima su vidljivi instrumenti prijeko potrebni pilotu tijekom leta, a koji su grupirani prema namjeni. Veće razlike u postojanju ili položaju instrumenata navedene su kasnije, uz opis instrumenata.



Slika 3.1. Upravljačke ploče zrakoplova Cessna 172

Zrakoplovni instrumenti se prema namjeni dijele na instrumente za upravljanje letom i navigaciju, instrumente za mjerenje parametara pogonskih sustava i instrumente za nadzor sustava i uređaja. [8] Na slici (Slika 3.2.) shematski su prikazani položaji grupa instrumenata na upravljačkoj ploči.



Slika 3.2. Shematski prikaz pozicija skupina zrakoplovnih instrumenata na upravljačkoj ploči zrakoplova Cessna 172

Ispred pilota nalazi se skupina glavnih instrumenata za upravljanje letom, koji su označeni brojevima 7 do 12 i obuhvaćeni žutim pravokutnikom. U praksi su poznati kao „velikih šest“, što je zajednički naziv za umjetni horizont, visinomjer, brzinomjer, variometar, prikaznik smjera i prikaznik skretanja.

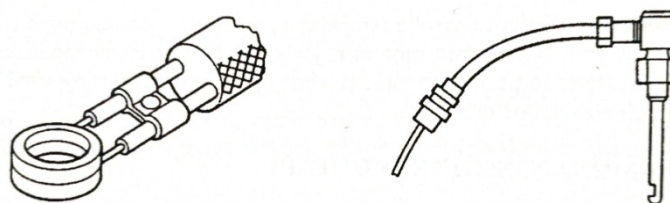
Označeni brojevima 13 do 15 i okruženi plavim pravokutnikom su prikaznici radionavigacijskih sustava – ili prikaznici radiosmjera, ili prikaznici odstupanja.

Prikaznici instrumenata za mjerenje parametara pogonske grupe smješteni su na lijevoj strani upravljačke ploče Cessne 172, a na slici (Slika 3.2.) su označeni brojevima od 1 do 6 i okruženi pravokutnicima crvene boje. Namjena te grupe instrumenata je praćenje relevantnih parametara motora aviona. U ovom poglavlju napravljen je pregled najčešćih instrumenata i pojašnjen je njihov princip rada.

3.1. Termometri

U zrakoplovstvu se uglavnom koriste termonaponski, termootporni, manometarski i pirometarski termometri.

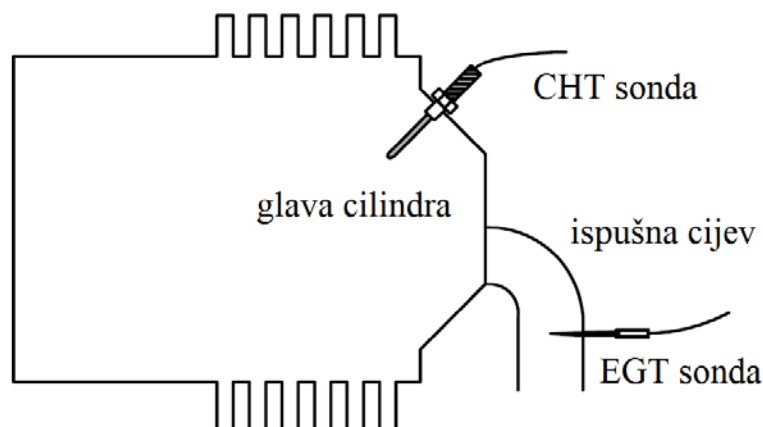
Termometri koji daju informaciju o CHT-u i EGT-u su termonaponski, ali se mogu razlikovati po obliku davača (Slika 3.3.). Davač termometra koji mjeri CHT je prstenasti ili štapićasti, a davač termometra koji mjeri EGT je štapićasti. Razlika je potrebna zbog različitog načina ugradnje termometara.



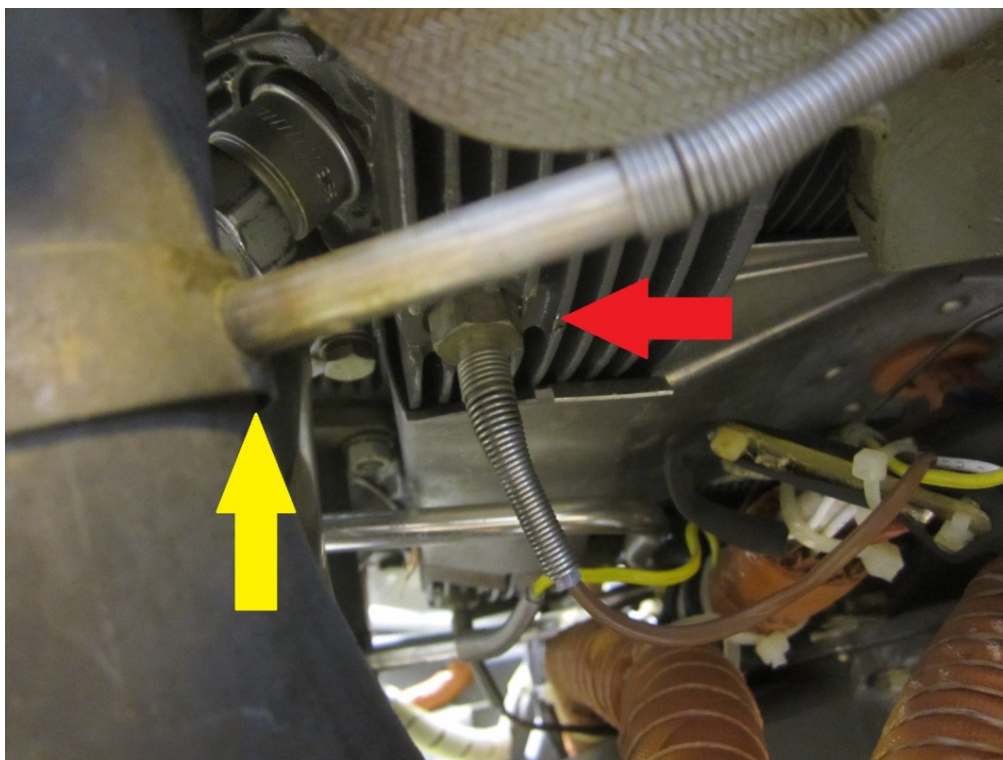
Slika 3.3. Lijevo: prstenasti davač. Desno: štapićasti davač [8]

Termonaponski termometri su spoj dvaju vodiča u termopar, a generiraju tzv. termonapon na slobodnim krajevima termopara ukoliko se zagrijava točka spoja vodiča. Izbor vrste vodiča u termoparu ovisi o radnom području termometra. Generirani termonapon je nizak, pa vodovi do instrumenta moraju imati što manji otpor.

Na slikama (Slika 3.4., Slika 3.5.) prikazane su shema i stvarna izvedba mjerenja CHT-a i EGT-a. Štapićasti davač postavljen je kod rebara za hlađenje na cilindru kako bi se izmjerila temperatura glave cilindra, i u ispušnu cijev kako bi se izmjerila temperatura ispušnih plinova. Alternativno, prstenasti davač može se postaviti ispod svječice cilindra kako bi se mjerio CHT. Cijeli postupak ugradnje je opisan u poglavlju 6.

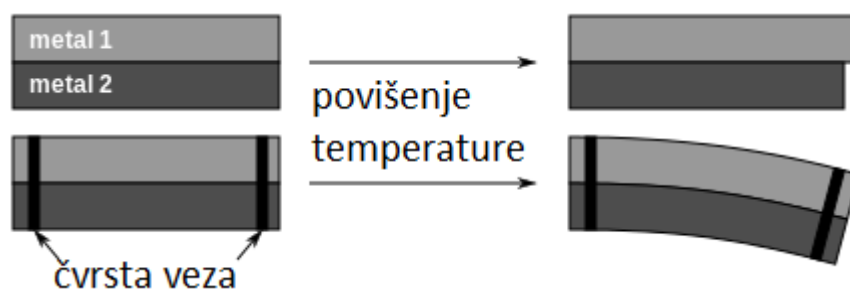


Slika 3.4. Shematski prikaz mjesta ugradnje senzora CHT i EGT temperature [4]



Slika 3.5. Mjesta ugradnje termometara (Žutom strelicom označeno je mjesto ugradnje EGT termometara, a crvenom CHT termometra)

Za mjerenje temperature okolišnog zraka koristi se bimetalni termometar, u kojemu su dvije uske trake čvrsto priljubljene i svinute u spiralu. Povećanjem temperature, različito rastezanje dvaju metala uzrokuje izvijanje bimetalne trake, koje se prenosi na kazaljku indikatora. Princip rada prikazan je na slici (Slika 3.6.).



Slika 3.6. Princip rada bimetalnog termometra [5]

Termometar koji mjeri temperaturu ulja je termootpornički. Rad takvog termometra temelji se na promjeni električnog otpora osjetnika s temperaturom. Za osjetnike se mogu koristiti vodiči, poluvodiči ili termistori. Prikaznik te temperature, zajedno s označenim intervalom standardnih radnih vrijednosti, vidljiv je na slici (Slika 3.9.).

Na upravljačkoj ploči zrakoplova nalazi se više prikaznika navedenih termometara. Izgled prikaznika nije standardiziran i ovisi o tipu zrakoplova, a u pravilu dolaze u 4 tipa: analogni, digitalni, analogno-digitalni i stupčasti. Uz naziv prikazanog parametra, na prikazniku se nalazi i mjerna jedinica i korak vrijednosti instrumenta.

Na starijim zrakoplovima često nema mjerenja CHT-a, nego je prisutan samo prikaznik za EGT. Bitno je napomenuti da se EGT prikaznik vidljiv na slici (Slika 3.7), lijevo, nalazi na desnoj strani upravljačke ploče zrakoplova, relativno daleko od pilota. U novijim zrakoplovima zamijenjen je prikaznikom vidljivim na slici (Slika 3.7), desno, na kojem se zajedno prikazuju očitavanja EGT i protok omjera goriva, a novi položaj uz ostale instrumente pogonske grupe bitno je poboljšanje.

Na EGT prikaznicima česta je i pomična kazaljka, koju pilot postavlja na zapaženi maksimalni EGT kao referencu za postupak osiromašivanja smjese, tzv. „linovanje“.



Slika 3.7. Lijevo: analogni EGT prikaznik. Desno: analogni prikaznik EGT i FF [6]

3.2. Mjerač količine goriva (MKG)

Poznati i kao benzinomjeri, ovi instrumenti služe za mjerenje količine goriva u spremnicima. Prema načinu rada dijele se na mehaničke, hidrostatičke, električne i kapacitivne.

Postoji više vrsta mehaničkih MKG, npr. sa izravnim očitanjem, s kapaljkom, s plovkom i drugi. Svi koriste neku vrstu mehaničke veze za očitavanje razine goriva u spremniku.

Hidrostatički MKG, poznat i kao pneumatski MKG, mjeri razliku hidrostatskog tlaka na dnu spremnika goriva i tlaka zraka na površini goriva, koristeći diferencijalno osjetilo.

Kapacitivni MKG je u osnovi električni, ali ga se zbog principa rada smješta u posebnu kategoriju. Funkcionira tako da se mjeri promjena kapaciteta davača koji je smješten u spremnik, i to usporedbom trenutnog kapaciteta s referentnim kapacitetom u obliku kondenzatora.

U promatrani zrakoplov ugrađen je električni MKG koji funkcionira tako da se pomak plovka prenosi na davač sustava daljinskog prijenosa. Podjela električnih MKG-a je na one s kontaktnim ili beskontaktnim sustavom daljinskog prijenosa.

Indikatori mjerača količine goriva dolaze u analognoj, analogno-digitalnoj i stupičastoj izvedbi. Analogni indikator kakav se nalazi u Cessni 172, prikazan na slici (Slika 3.8), ima posebnu skalu za svaki spremnik goriva.

Ukoliko kazaljka padne na vrijednost 0, u spremnicima u pravilu ostaje oko 5,5 litara (1,5 galona) goriva koje se ne može iskoristiti.



Slika 3.8. Indikator mjerača količine goriva [7]

3.3. Tlakomjeri

Tlakomjeri, ili češće manometri, služe uglavnom za mjerenje tlakova tekućina (npr. ulja, goriva) i plinova. Dva najbitnija tlakomjera mjere apsolutni tlak u usisnoj cijevi (MAP), koji se naziva i apsolutni tlak punjenja, i tlak ulja za podmazivanje motora.

Tlakomjer ulja najčešće je, kod manjih zrakoplova, izveden sa izravnim prikazivanjem. Ulje se tlakovodom dovodi sve do tlakomjera s Bourdonovom cijevi, iako je moguće između ta dva sustava staviti granicu u obliku elastičnog mijeha ili membrane. Bourdonova cijev povezuje dovedeni tlak i vrijednost na prikazniku putem deformacije cijevi.

Tlakomjer koji mjeri apsolutni tlak u usisnoj cijevi je aneroid i radi na sličnom principu kao tlakomjer ulja- dobiveni rezultat povezan je s mjerenim tlakom preko deformacije elastičnog tijela. Ukoliko je instrument manometar, dobiveni parametar naziva se samo tlak punjenja (engl. *Manifold Pressure Ratio*, MPR).

Prikaznici tlakomjera nisu standardizirani, a mogu biti analogni, digitalni ili kombinirani. Kao što je vidljivo na slici (Slika 3.9.), prikaznici često zajedno prikazuju oba parametra ulja, tlak i temperaturu. Starija verzija, prikazana na slici (Slika 3.9.), gore, ima te parametre smještene jedan do drugog. Oba prikaznika imaju zelenom linijom označene normalne vrijednosti tlaka ulja tijekom eksploatacije, koje se nalaze između 4,1 bar i 6,2 bar (60 PSI i 90 PSI). Crvenim linijama označene su minimalne vrijednosti od 1,72 bar (25 PSI), i maksimalne vrijednosti od približno 7,6 bar (110 PSI).



Slika 3.9. Analogni prikaznici tlaka i temperature ulja [7]

3.4. Protokomjer goriva

Funkcija ovih instrumenata je mjerenje volumne ili masene količine goriva koje protječe iz spremnika goriva u motor u jedinici vremena. Koriste se za optimizaciju rada motora, režima leta i planiranje doleta.

Podijeljeni su na protokomjere volumena (volumne protokomjere) i protokomjere mase goriva (masene protokomjere), uz integrirajuće protokomjere izdvojene kao zasebnu skupinu instrumenata.

Volumni protokomjeri često su jednostavne konstrukcije, korištene u manjim zrakoplovima. S obzirom na malu količinu goriva koju takvi zrakoplovi nose, moguće je zanemariti utjecaj temperature na volumen što daje konstantnu vezu volumena i mase goriva. Izvedbe volumnih protokomjera uključuju protokomjer s Venturijevom cijevi, protokomjer s plovkom, protokomjer s krilcem i turbinski protokomjer. Od navedenih, protokomjeri s Venturijevom cijevi i protokomjeri s plovkom sve se rjeđe koriste.

Protokomjer s krilcem sastoji se od krilca koje je poprečno postavljeno u cijev na mjestu mjerenja. Krilce se otklanja ovisno o volumnom protoku, a osovina krilca povezana je s davačem sustava daljinskog prijenosa ili izravno s mehanizmom prikaznika. Turbinski protokomjer koristi turbinu, smještenu u kućište, koja se okreće zbog protoka goriva. Prema načinu generiranja i obradi signala, turbinski protokomjeri dijele se na impulsne i tahogeneratorske.

Maseni protokomjeri koriste se na većim zrakoplovima i općenito su točniji od volumnih protokomjera čiji rezultati mjerenja mogu ovisiti o temperaturi. Najčešća verzija je rotorski maseni protokomjer, a mjerenje protoka izvodi se mjerenjem zakretnog momenta na turbini. Ispred turbine nalazi se impeler koji uzrokuje rotaciju toka goriva, a rotirajuća masa goriva nastoji zarotirati turbinu. Protuopruga djeluje suprotno, sprječavajući rotaciju turbine, pa se preko ostvarenog zakretnog momenta određuje masa goriva.

Njegov prikaznik vidljiv je ranije na slici (Slika 3.7.), desno, jer su na tom tipu prikaznika povezane vrijednosti EGT i protoka goriva.

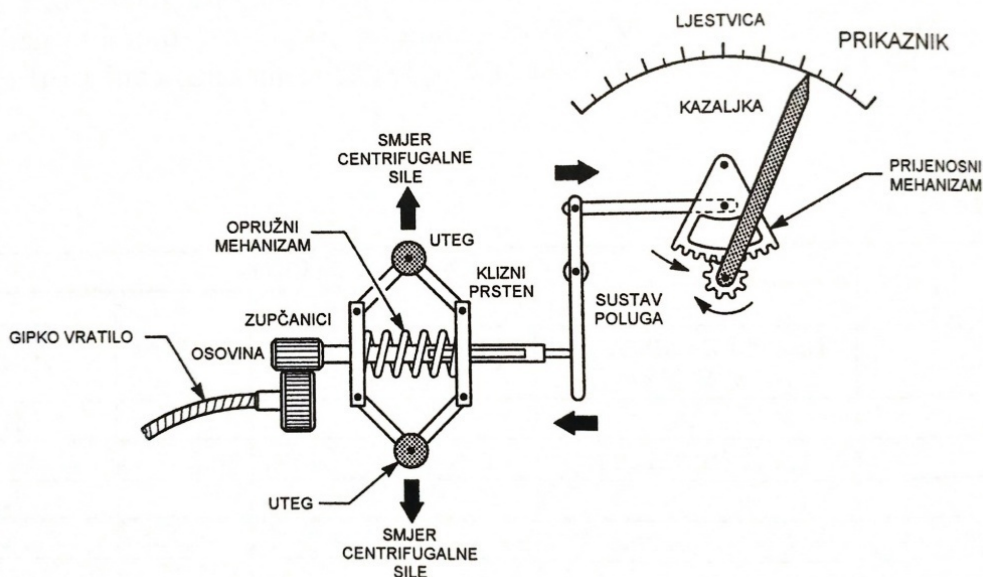
3.5. Tahometar

Tahometri su instrumenti za mjerenje brzine vrtnje radilice klipnog motora. Na zemlji, tahometar služi za provjeru sposobnosti motora da razvije dovoljnu snagu za uzlijetanje, a tijekom leta služi za prilagodbu snage različitim režimima leta.

Glavna podjela tahometara je na mehaničke i električne tahometre, uz daljnje podjele unutar skupina.

Električni tahometri rade na principu generiranja napona ili impulsa, čija je veličina (tj. frekvencija) razmjerna broju okretaja.

U Cessnu 172 ugrađen je mehanički tahometar centrifugalnog tipa. Shema rada prikazana je na slici (Slika 3.10.). Osovina s opružnim mehanizmom i utezima spojena je na vratilo i rotira zajedno s njim. Centrifugalna sila djeluje na utege i udaljava ih od osovine, što se očituje kao pomak kliznog prstena duž osovine. Taj pomak se preko sustava poluga prenosi do prikaznika. Očit nedostatak takvog mehanizma je trošenje dijelova do kojeg dolazi tijekom rada motora.



Slika 3.10. Shema rada centrifugalnog tahometra [8]

Sam prikaznik tahometra, prikazan na slici (Slika 3.11.), ima označene vrijednosti s korakom od po 100 RPM. Zelena linija proteže se od vrijednosti 2200 do 2600 kako bi se označio raspon preporučenih vrijednosti pri eksploataciji. Crvena linija oznaka je maksimalne vrijednosti od 2700 RPM.

Na instrumentu je vidljiv i sat koji prati vrijeme rada motora, tzv. totalizer. Njegova funkcija je brojanje ukupnog broja okretaja, pa se brzina mjerenja povećava s povećanjem RPM.

Izmjerena vrijednost RPM uspoređuje se s postavljenom referentnom vrijednosti – ukoliko je brzina vrtnje jednaka toj referentnoj vrijednosti, nakon sat vremena rada totalizer će pokazivati točno jedan sat više. Vrijeme se prikazuje u satima i desetinama sata.



Slika 3.11. Prikaznik tahometra

3.6. Ampermetar

Ampermetar, ili engleski „ammeter“, instrument je za mjerenje jakosti električne struje u električnim krugovima. U zrakoplovima, pokazuje tok struje iz alternatora u bateriju ili iz baterije u električni krug zrakoplova.

Ukoliko motor radi i uključen je tzv. „Master Switch“, ampermetar pokazuje struju punjenja baterije. Ukoliko alternator ne radi ili je opterećenje veće od struje koju daje alternator, ampermetar pokazuje pražnjenje baterije.

U nekim zrakoplovima, osim ampermetra, ugrađen je i voltmetar. To je instrument za mjerenje napona između dvije točke u sustavu. Zrakoplovni voltmetar pokazuje napon baterije. Standardna vrijednost napona baterije je 12 V ili 24 V, ovisno o bateriji, a kad alternator radi voltmetar bi trebao pokazivati vrijednosti oko 13,8 V ili 28 V. U slučaju otkaza neke od ćelija baterije, voltmetar će pokazivati napon za 2 V (po bateriji) manji od nazivnog.

Prikaznik ampermetra prikazan je na slici (Slika 3.12.).



Slika 3.12. Prikaznik ampermetra

4. Uređaji za praćenje parametara rada zrakoplovnih klipnih motora

Uređaji za praćenje parametara rada zrakoplovnog klipnog motora razvijeni su kao zamjena za ručno prikupljanje relevantnih podataka. U 30ak godina od pojave prvih takvih uređaja, pojavilo se mnogo uređaja različitih izvedbi i preciznosti. U nastavku je napravljen pregled nekolicine proizvođača i kratka analiza jednog od ponuđenih uređaja.

Najvažnije funkcije uređaja su bilježenje i mogućnost prijenosa podataka, alarmi (programabilni ili ne), senzori, prikaz i certifikat instrumenta.

Funkcija prvih uređaja bilo je samo okupljanje instrumenata u jedan sustav, pa mnogi nisu imali mogućnost bilježenja podataka. Nakon što je ta mogućnost uvedena ugrađivanjem unutarnje memorije, omogućeno je skidanje podataka sa uređaja samo unošenjem prijenosnog računala u kokpit i spajanjem dvaju uređaja. Iako se takvi uređaji i danas koriste, mnogi imaju dodatnu opciju ugrađivanja ulaza za prijenosne memorije, čime je uvelike olakšan pristup podacima.

Broj senzora koji dolaze s uređajem ovisi o broju parametara koji se prate i tipu motora koji se promatra. Prilikom nabave potrebno je pridati važnost kvaliteti senzora, s obzirom da će razlike u kvaliteti senzora biti bitne i tijekom eksploatacije i tijekom analize.

Podaci koji dolaze od senzora prikazuju se na jednom ekranu. Takav način prikaza podataka smatra se pregledniji u odnosu na standardne zrakoplovne instrumente. Danas postoji više takvih prikaznika na tržištu koji se razlikuju načinom prikazivanja ali i kvalitetom izrade. Na slici (Slika 4.1.) prikazani su uređaji EDM-350 i EDM-900, kako bi se ilustrirao razvoj i razlike.



Slika 4.1. Lijevo: prikaznik uređaja EDM-900. Desno: prikaznik uređaja EDM Classic Scanner [9].

Neki uređaji prodaju se samo kao dopunska oprema, dok drugi nose certifikat primarnih instrumenata izdan od strane nadležnih zrakoplovnih vlasti. Ti certifikati mogu se odnositi samo na neke ili na sve zrakoplovne instrumente, a znače da se ugradnjom certificiranog uređaja mogu odstraniti postojeći instrumenti. Pozitivna strana je oslobođenje prostora, ali je nužno napomenuti da su takvi uređaji opremljeni alarmima koji su povezani s preporukama proizvođača i nije ih moguće mijenjati. Pokazalo se da su ti alarmi nekad iznad graničnih vrijednosti, što može dovesti do oštećenja motora jer problem s nekim parametrom nije uočen dovoljno rano.

4.1. Pregled tržišta

U nastavku ovog poglavlja promatrana su 3 sustava za praćenje radnih parametara zrakoplovnih klipnih motora različitih proizvođača. Nužan uvjet bila je mogućnost ugradnje tih sustava na promatrani zrakoplov Cessna 172-R i pripadajući Lycoming motor. Na stranici *Aircraft Spruce* [10] moguće je naći popis ostalih većih proizvođača i uređaja.

4.1.1. J. P. Instruments (JPI)

Tvrtka JPI u ponudi ima ukupno 13 uređaja. Većina je podijeljena u EDM serije 700, 800 i 900, uz iznimku EDM-350 i EDM Classic uređaja. Svaka od serija sadržava nekoliko uređaja, koji nude slične opcije za zrakoplove s jednim ili dva motora i motore s različitim brojem cilindara.

EDM-800, prikazan na slici (Slika 4.2.) je uređaj za praćenje radnih parametara zrakoplovnog motora namijenjen jednomotornim avionima s 4 ili 6 cilindara. Sustav omogućuje automatsko praćenje 24 parametra motora, sa standardnom frekvencijom uzorkovanja od 4 puta u sekundi.

Parametri uključuju EGT, RPM, MAP, tlak ulja, OAT, FF i dr. Razvijen je i poseban algoritam za računanje snage motora iz ostalih parametara. Sam uređaj odobren je od strane Savezne uprave za civilno zrakoplovstvo (engl. Federal Aviation Administration, FAA) kao primarni instrument za parametre CHT, TIT i temperaturu ulja.

Prikaz podataka može biti analogan ili digitalan. Uz prikazane podatke dolaze i 24 alarma, dio kojih je moguće programirati po želji.



Slika 4.2. Izgled uređaja EDM-800 [9]

Brzina zapisa parametara je podesiva, od 2 do 500 sekundi. O brzini zapisa i broju praćenih parametara ovisi trajanje zapisa. Zapise je moguće preseliti na osobno računalo ili izravno na prijenosnu memoriju. Uz opremu, EDM-800 dolazi sa EzTrends softwareom, koji omogućuje olakšan prikaz i analizu dobivenih podataka.

4.1.2. *Grand Rapids*

Tvrtka Grand Rapids nudi 8 sličnih uređaja koji se razlikuju po tipu motora za koji su namijenjeni, a uključuju proizvođače kao Lycoming, Continental, Volkswagen, Rotax i sl. Za motore koji nisu ponuđeni dostupan je opći sustav koji se u dogovoru s proizvođačem prilagođava potrebama korisnika.

Uređaj kompatibilan s ugrađenim Lycoming motorima je Grand Rapids EIS 4000.

Ugrađuje na motore s 4 ili 6 cilindara i prati 4 osnovna (EGT, CHT, temperatura ulja, tlak ulja) i 6 dodatnih parametara. Dostupni dodatni parametri uključuju protok goriva, MAP, tlak goriva i dr. Sustav nema certifikat primarnog instrumenta za te parametre, niti posjeduje potvrdu o minimalnoj tehničkoj ispravnosti (engl. *Technical Standard Orders*, TSO). Uz navedene parametre pogonskog sustava, GRT EIS može pratiti i neke parametre instrumenata za upravljanje zrakoplovom, kao što su brzina, vertikalnu brzinu i visinu leta. Vrijednosti RPM-a mogu se povezati s podsjetnikom na listu postupaka pri slijetanju. Sve funkcije uređaja imaju alarme za kritične vrijednosti, od kojih većina dolazi s gornjom i donjom kritičnom granicom.

Prikaznik uređaja prikazan je na slici (Slika 4.3.).



Slika 4.3. Prikaznik uređaja GRT EIS [10]

4.1.3. Insight

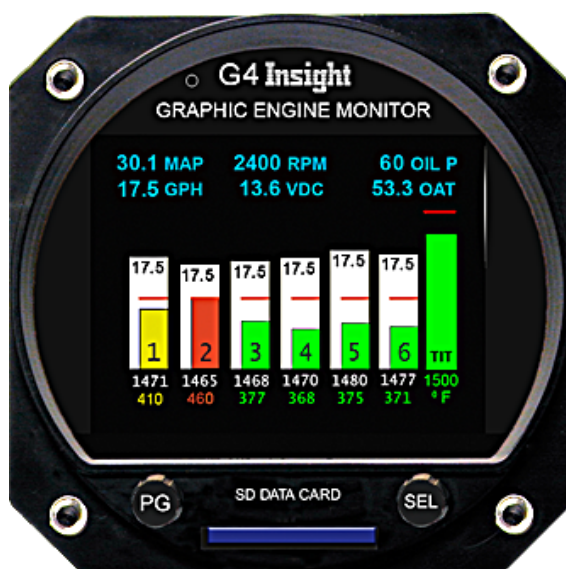
Tvrtka Insight nudi 8 uređaja za praćenje rada klipnih motora. Uređaji su namijenjeni jednomotornim i dvomotornim zrakoplovima, ali i helikopterima. Za analizu odabran je uređaj G4, prikazan na slici (Slika 4.4), kao najnovija verzija uređaja namijenjena jednomotornim avionima.

Uređaj je certificiran kao primarni uređaj za parametre EGT, CHT i TIT. U sustav je ugrađen i algoritam za olakšano određivanje bogatstva smjese putem vršnih EGT-a. Uz navedene parametre, moguće je mjeriti još 12 parametara koji uključuju MAP, RPM, OAT i druge. Kao upozorenje, parametrima koji prijeđu programirane kritične vrijednosti mijenja se boja na zaslonu.

Ukoliko se G4 poveže s Insight TAS uređajem, G4 može mjeriti i prikazivati nekoliko parametara sustava za upravljanje zrakoplovom – visinu, brzinu i smjer leta, te brzinu i smjer vjetra.

Uređaj dolazi s ulazom za memorijsku karticu, koja ne mora služiti samo za prebacivanje zapisanih podataka - Insight nudi povremeno unaprjeđivanje programskog paketa sustava putem memorijske kartice, bez potrebe za uklanjanjem uređaja iz zrakoplova.

Insight G4 ističe se dostupnom analizom vibracija u motoru, s ciljem ranog otkrivanja mehaničkih problema i prevencije katastrofalnog otkaza motora. Za pravilan rad funkcije potreban je senzor vibracija koji je nužno ugraditi na motor. Podatke o vibracijama moguće zapisati u memoriju uređaja zajedno s ostalim parametrima.



Slika 4.4. Uređaj EI CGR-30 [10]

5. Regulatorni zahtjevi za ugradnju uređaja EDM-800

Svi zrakoplovi odobreni za izvođenje letačkih operacija imaju dokument koji potvrđuje da zrakoplov odgovara osnovi za certifikaciju i da proizvod nema svojstva koja bi mogla štetno utjecati na sigurnost njegove uporabe. Takvi se dokumenti nazivaju *certifikati tipa* (engl. *Type Certificate*, TC) i pokrivaju proizvod, zajedno s ugrađenim uređajima i dijelovima.

Sustavi za praćenje radnih parametara motora nisu dio standardne opreme nekih zrakoplova – u slučaju instalacije potrebno je zrakoplov modificirati ugradnjom dijelova sustava. U svrhu dokazivanja sigurnosti uporabe zrakoplova nakon takvih većih izmjena, za to zadužena organizacija na zahtjev proizvođača izdaje *dodatni certifikat tipa* (engl. *Supplemental Type Certificate*, STC).

S obzirom da je proizvođač uređaja EDM-800, tvrtka J.P. Instruments, locirana u Sjedinjenim Američkim Državama, STC za taj uređaj izdala je FAA. Nadležna organizacija u Europi je Europska agencija za zrakoplovnu sigurnost (engl. *European Aviation Safety Agency*, EASA), kojoj je potrebno uputiti zahtjev za potvrdu dokumenta izdanog od strane FAA. To se čini podnošenjem zahtjeva FAA uredu za certificiranje zrakoplova (engl. *Aircraft Certification Office*, ACO). ACO zahtjev prosljeđuje EASA uredu koji, nakon primanja ostatka dokumentacije i plaćanja naknada, izdaje EASA STC za proizvod. Tada korisnik može pristupiti ugradnji uređaja. Ukoliko uređaj već postoji u EASA-inoj bazi odobrenih STC-a, nije potrebno prolaziti kroz opisanu proceduru. S obzirom da se u [11] ne nalazi uređaj EDM-800, ali se nalaze uređaji EDM-700 i EDM-900, korisnik je dužan kontaktirati EASA-u kako bi se provjerio i potvrdio status STC-a uređaja EDM-800. Važno je primijetiti da nacionalne zrakoplovne vlasti nemaju ulogu u ovom dijelu procesa jer je izdavanje i potvrđivanje STC-a u nadležnosti EASA-e.

Jedan od razloga ugradnje uređaja za praćenje radnih parametara motora je utjecaj dobivenih informacija na održavanje kontinuirane plovidbenosti zrakoplova. Uvođenjem sustava za praćenje stanja motora (engl. *Engine Condition Trend Monitoring*, ECTM) uz standardni sustav održavanja moguće je dobiti puno točniju sliku o potrebnim postupcima održavanja.

Manji zrakoplovi održavaju se prema tzv. „hard-time“ pristupu gdje su pregledi zrakoplova i njegovih komponenti direktno vezani na resurs nekog dijela zrakoplova. Kako se sustav pokazao izrazito nefleksibilnim, uvedena je mogućnost produljenja resursa komponente.

Procedura produljenja resursa opisana je u „Naredbi o zrakoplovnoj sigurnosti ASO-2017-001“ [12], dokumentu Hrvatske agencije za civilno zrakoplovstvo (engl. *Croatian Civil Aviation Agency*, CCAA). Obavezni pregled komponente koji se spominje u navedenom dokumentu moguće je popratiti podacima koji su sakupljeni tijekom eksploatacije, a koji daju uvid u ponašanje komponente tijekom eksploatacije i njezino trenutno stanje. Dokumentom „Naredba ozrakoplovnoj sigurnosti ASO-2013-001“, [13], odobrena je primjena istog pristupa na zrakoplovne klipne motore, tj. moguće je iskoristiti podatke prikupljene uređajem EDM-800 koji daju uvid u dugoročno ponašanje motora, kao dodatak informacijama potrebnim za odobrenje produljenja resursa klipnog motora.

6. Postupak ugradnje uređaja EDM-800

Komponente uređaja EDM-800 namijenjenog četverocilindarskim motorima navedene su u tablici (Tablica 6.1.).

Tablica 6.1. Prikaz broja komponenti uređaja EDM-800 [3]

Komponenta	Količina
Indikator	1
EGT senzor- štapičasti davač	4
CHT senzor - štapičasti davač	3
CHT senzor - prstenasti davač	1
*Senzor za mjerenje temperature ulja	1
*Pretvornik tlaka ulja	1
OAT senzor	1
IAT senzor	1
RPM senzor	1
MAP senzor	1
*TIT senzor	1
*Pretvornik protoka goriva	1

*dodatne opcije

Svaka od navedenih komponenti dolazi s dijelovima potrebnima za pravilnu ugradnju, npr. stezaljkama i vijcima, ali je u „Priručniku za instalaciju“ [4] navedeno da dijelovi specifični za tip aviona nisu uključeni i da ih je potrebno nabaviti prije početka ugradnje.

Pregled instalacije nekoliko ključnih dijelova sustava:

6.1. Indikator

Sastoji se od analognog i digitalnog dijela zaslona i dvije tipke. U slučaju da je ugrađen i protokomjer, uz indikator se nalazi prekidač s 3 pozicije kojim se kontrolira sadržaj prikaznika. Prikaznik uređaja EDM-800 ugrađenog na četverocilindarski motor je vidljiv na slici (Slika 6.1.). Prva 4 stupca prikazuju EGT kao postotak maksimalne vrijednosti, označene visinom stupca. Linija koja nedostaje u EGT stupcu pokazuje vrijednost CHT-a, a ljestvica vrijednosti vidljiva je s lijeve strane. Digitalni dio zaslona prikazuje izmjerene vrijednosti EGT-a i CHT-a za jedan cilindar koji je u tom trenutku označen točkom ispod broja cilindra. Ostale vrijednosti također se prikazuju na digitalnom dijelu, uz pripadajuću oznaku prikazane veličine (npr. „FF“ za Fuel Flow, „OIL“ za temperaturu ulja i sl.).



Slika 6.1. Prikaznik uređaja EDM-800 [9]

Među dijelovima za instalaciju nalazi se čelična šablona kao uputa za bušenje dviju rupa u ploči s instrumentima, za tipke indikatora. Nakon prvog bušenja, do dubine 3,17 mm (0,125 in) potrebno je osigurati pravilnu orijentaciju instrumenta, pa onda dovršiti bušenje do dubine 3,73 mm (0,147 in).

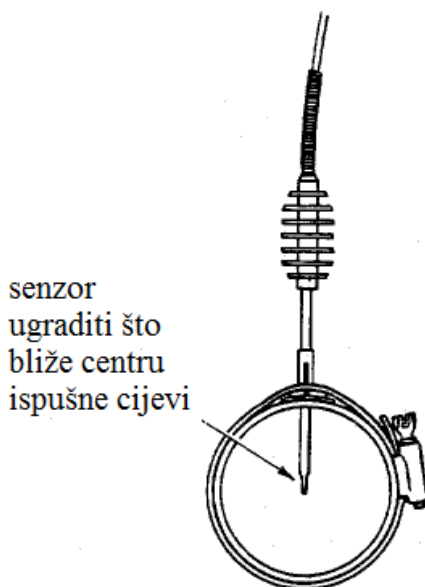
Indikator se instalira u standardne otvore promjera 57 mm (2,25") ili 80 mm (3 1/8"). EDM-800 zahtijeva prostor dubine 190 mm (7,5 in) za ugradnju.

Tijekom instalacije treba oprezno montirati indikator na nosače i to tako da vijci za montiranje ne prodiru u instrument više od 3 mm.

6.2. Senzor za mjerenje temperature ispušnih plinova

Za instalaciju senzora potreban je novi ili postojeći otvor u ispušnoj cijevi, promjera između 3 mm (1/8") i 6 mm (1/4"). Ukoliko se instalira više od jednog senzora, moraju se nalaziti na jednakoj udaljenosti od oboda ispušne cijevi. Preporučeno područje ugradnje senzora je između 50 mm i 101 mm (2" i 4") od oboda. Ukoliko na tom području nije moguće instalirati senzore, potrebno je ispuniti barem prvi uvjet da se nalaze na jednakoj udaljenosti, kako bi mjerili temperaturu na istom mjestu.

Sva odabrana mjesta ugradnje potrebno je prethodno pregledati kako bi se osiguralo da ništa ne ometa senzor, stezaljku, vijak stezaljke ili žicu. Štapičasti davač senzora se postavlja u otvor tako da se vrh senzora nalazi u sredini struje ispuha, kao što je prikazano na slici (Slika 6.2.). Tada se stezaljka pritegne momentom od 5 Nm (45 in/Lbs).

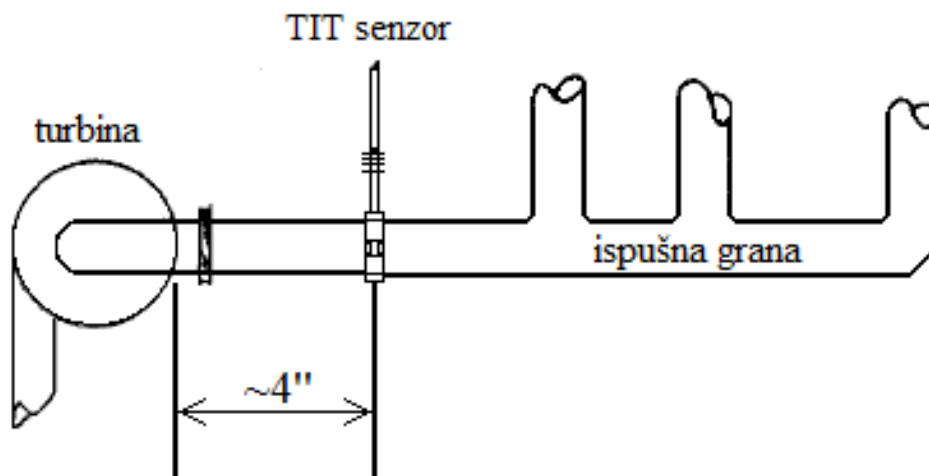


Slika 6.2. Pravilan način ugradnje EGT senzora

Pri montaži senzora posebnu pozornost treba obratiti na mjesto ugradnje, jer ako se senzor ugradi na mjesto kliznog spoja jamstvo senzora će biti uskraćeno.

6.3. Senzor za mjerenje temperature na ulazu u turbinu turbopunjača

Standardni TIT senzor posebnom stezaljkom se smješta u kolektor ispušne grane na maksimalnu dubinu od 12 mm (1/2 in) i otprilike 101 mm (4 in) od ulaza u turbinu turbopunjača (Slika 6.3.).



Slika 6.3. Prikaz mjesta ugradnje senzora za mjerenje temperature na ulazu u turbinu [4]

Ukoliko zrakoplovni sustav već omogućuje očitavanje TIT-a, ti se signali mogu preusmjeriti na EDM. Moguća je potreba za ispravljanjem dobivenih vrijednosti ukoliko odstupaju od onih na prikazniku standardnog TIT termometra, a postupak korekcije detaljno je pojašnjen u uputama za instalaciju [4].

Izmjerene vrijednosti TIT nalaze se na prikazniku uređaja u posljednjem stupcu, uz očitavanja EGT-a, sa slovom „T“ na vrhu stupca (Slika 6.1.).

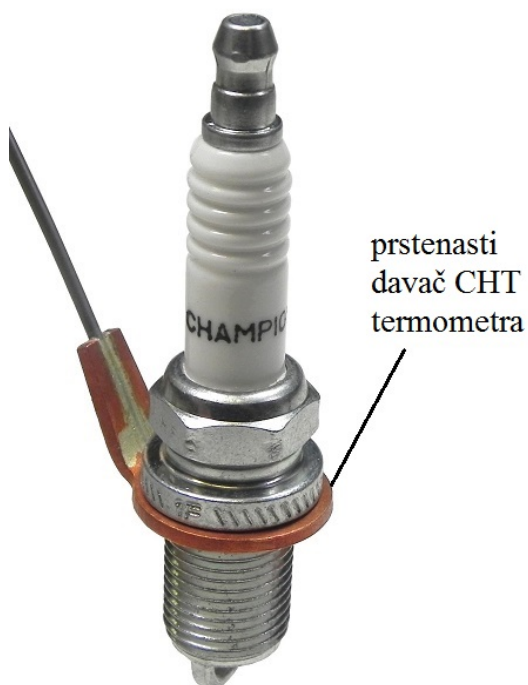
6.4. Senzor za mjerenje temperature glave cilindra

Postojeći indikatori temperature glave cilindra spojeni su na termootporni senzor štapićastog oblika davača, koji ima posebno mjesto u bazi cilindra. Taj senzor nije kompatibilan s indikatorom uređaja EDM-800, koji zahtijeva termonaponske senzore opisane ranije. JPI CHT senzor se instalira ispod jedne od svjećica, na mjesto brtve svjećice (Slika 6.4.).

Izbor svjećice se vrši u ovisnosti o rezultatima postojećih senzora – bira se ona svjećica na kojoj će senzor dati najslabije rezultate ostalim izmjerenim vrijednostima. Ovisno o poziciji, taj senzor može davati rezultate 14 °C (25 °F) više ili niže od postojećeg CHT senzora.

Senzor se obično stavlja na svjećicu koja se najviše hladi. Nakon više uklanjanja, moguće je da senzor mora proći proces žarenja prije daljnje uporabe.

Uz nadoplatu moguće je dobiti alternativni senzor koja dopušta da se postojeći CHT senzor i JPI CHT senzor smjeste u isti utor za termometar sa štapićastim davačem.

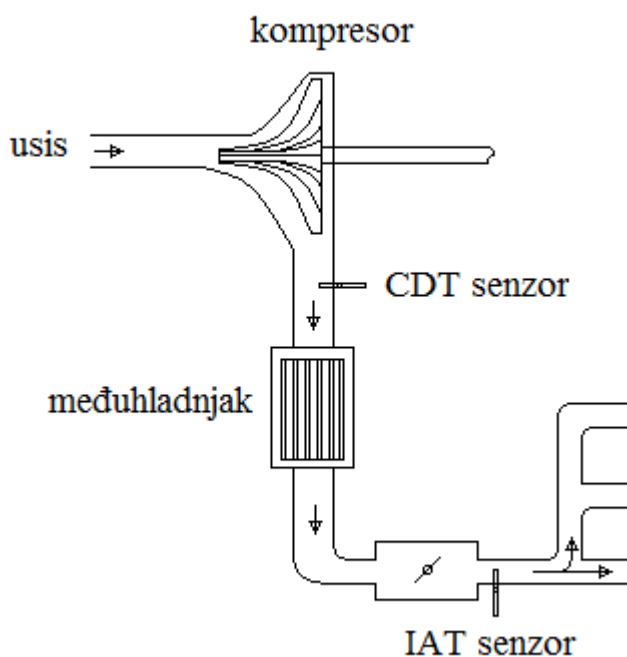


Slika 6.4. Mjesto ugradnje davača CHT termometra na svjećicu [14]

6.5. Senzor za mjerenje temperature zraka u usisniku

Senzor se u stvarnosti sastoji od dvaju senzora koje se instaliraju prije i poslije međuhladnjaka, kao što je prikazano na slici (Slika 6.5.). Senzor postavljen ispred hladnjaka mjeri temperaturu na izlazu iz kompresora (engl. *Compressor Discharge Temperature*, CDT) a onaj iza hladnjaka mjeri temperaturu u usisniku (engl. *Induction Air Temperature*, IAT).

U osnovi, senzori su jednaki EGT senzoru i ugrađuju se na isti način. Uz senzor dolazi stezaljka koja se stavlja oko cijevi koja vodi zrak iz međuhladnjaka. IAT se prikazuje kao neovisno očitavanje (npr. „125 IAT“). Za motore bez prednabijanja, IAT je zapravo temperatura u rasplinjaču, pa se prikazuje kao „34 CRB“.



Slika 6.5. Shematski prikaz mjesta ugradnje CDT i IAT senzora

6.6. Senzor za mjerenje temperature ulja – oznaka -C ili -L

Senzor za mjerenje temperature ulja ugrađuje se kao pomoćni sustav za mjerenje temperature ulja. Mjesta instalacije, opisana u nastavku, prikazana su na slici (Slika 6.6.).

Tip –L, za motore marke Lycoming: instalira se u desni prolaz za ulje tako da se makne čep i na njegovo mjesto ugradi senzor. Temperatura ulja prikazuje se kao neovisno očitavanje temperature (npr. „230 OIL“) i to automatski u sedmom stupcu ukoliko nema očitavanja

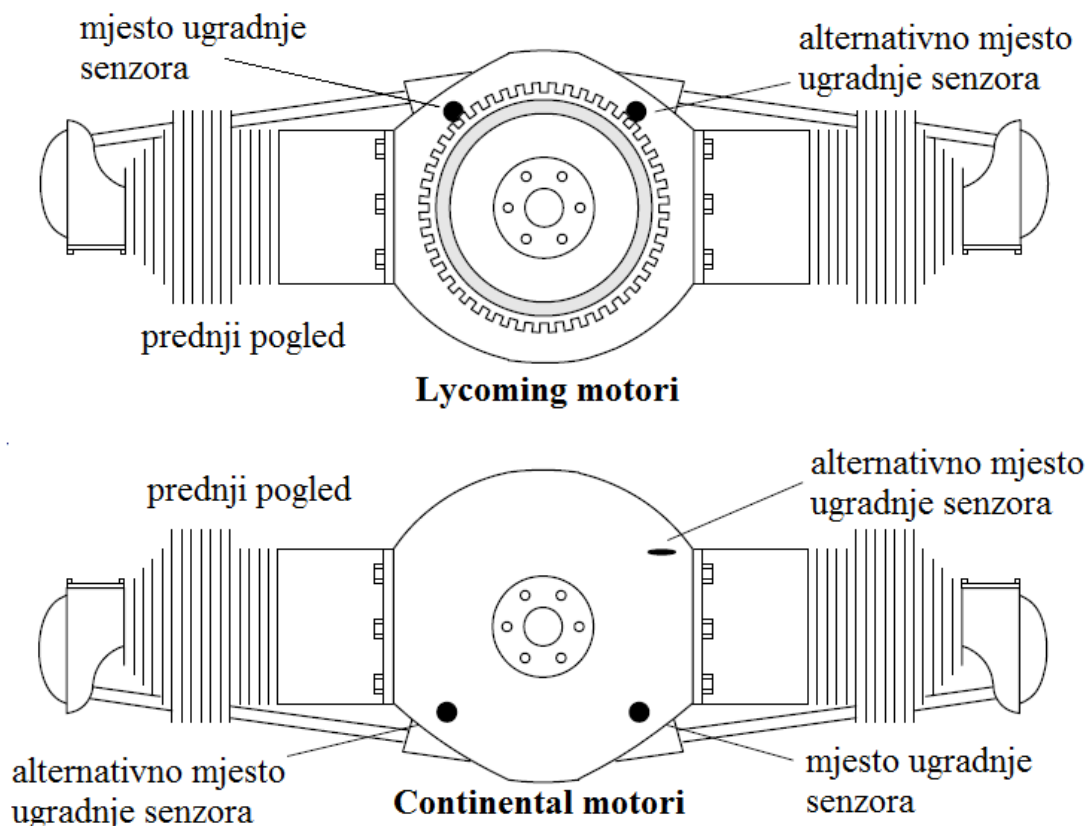
temperature na ulazu u turbopunjač. Originalni senzor i prikaznik temperature ulja moraju ostati na svojem mjestu.

Tip –C, za motore marke Continental: instalira se u lijevi prolaz za ulje (na strani pilota), tako da se ukloni čep i umetne senzor. Ukoliko je širina čepa veća od širine senzora, može se iskoristiti mjedeni adapter koji dolazi sa senzorom.

Alternativna lokacija je na vrhu motora, također na strani pilota, gdje se senzor ugrađuje okomito, ali treba osigurati da je prostor ispod poklopca motora dovoljan za ugradnju senzora.

Nakon ugradnje senzora potrebno je osigurati da nema curenja ulja. Vodove senzora treba provući do indikatora uređaja zajedno s vodovima EGT senzora.

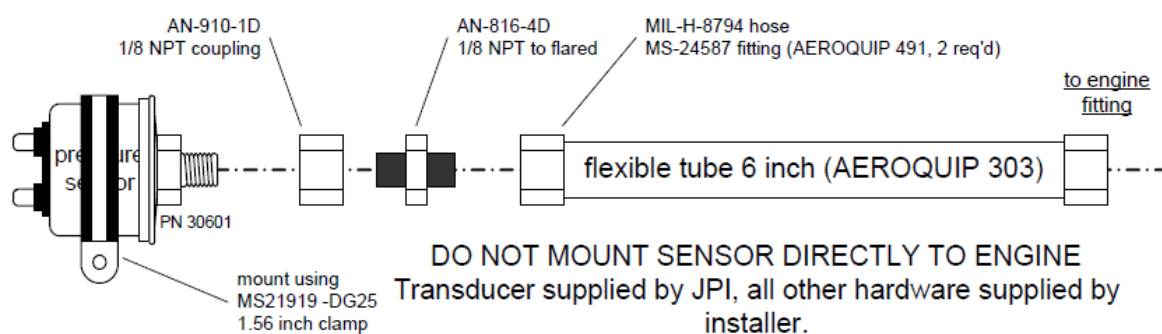
Senzor za mjerenje temperature ulja ne smije biti instaliran na stražnjoj strani motora, blizu regulatora temperature ulja.



Slika 6.6. Mjesta ugradnje senzora za mjerenje temperature ulja, prikazana na motorima proizvođača Lycoming i Continental [4]

6.7. Senzor za mjerenje tlaka ulja

Senzor za mjerenje tlaka ulja ugrađuje se pomoću aluminijske stezaljke. Stavlja se na požarni zid ili se omota oko postojećih vodova. Senzor se stavlja na tlačnu cijev pomoću fleksibilne cijevi i dodatne opreme, kako je prikazano na slici (Slika 6.7.). Aluminijska stezaljka služi za instalaciju senzora na požarni zid. Senzor se ne smije montirati direktno na motor. Drugi dio cijevi spaja se na mjesto za mjerenje tlaka ulja, prema preporuci proizvođača motora .



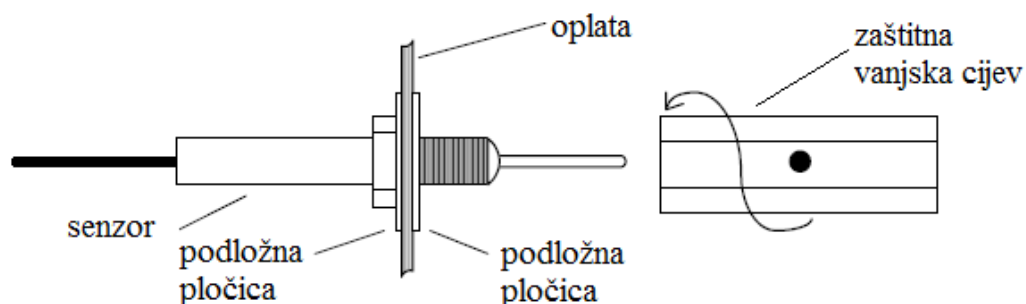
Slika 6.7. Shema sustava za mjerenje tlaka ulja [4]

Alternativno, u tlačni vod blizu indikatora postojećeg tlakomjera ulja može se ugraditi T-spoj, koji ne dolazi u paketu s EDM uređajem.

6.8. Senzor za mjerenje temperature okolišnog zraka

OAT senzor ugrađuje se kroz oplatu zrakoplova, prema slici (Slika 6.8.), na mjesto koje preporuča proizvođač konstrukcije. Ukoliko to nije moguće, senzor treba postaviti tako da se nalazi u čistoj struji zraka, npr. na donjoj strani krila i to dovoljno daleko od ispuha motora. Vanjska aluminijska cijev služi kako bi senzor ostao na mjestu i kako bi se zaštitio od zagrijavanja radijacijom.

OAT se na uređaju prikazuje kao neovisno temperaturno očitavanje, npr. „75 OAT“. Pri testiranju treba osigurati da senzor nije osunčan i da motor radi.

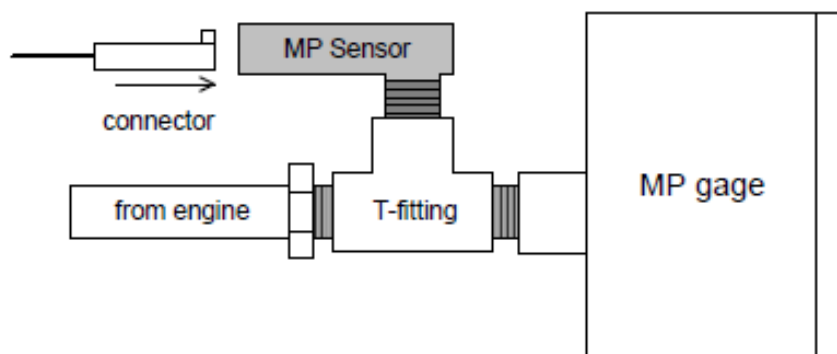


Slika 6.8. Shematski prikaz instalacije sonde za mjerenje temperature okolišnog zraka [4]

6.9. Senzor za mjerenje tlaka u usisnoj cijevi

Za instalaciju senzora potrebno je instalirati T-spojnicu blizu mjerila za tlak u usisnoj cijevi. Na T-spojnicu se tada spaja JPI MAP senzor, kako je prikazano na slici (Slika 6.9.). MAP senzor tada treba spojiti na ožičenje pripadajućim konektorom.

Ovakav sustav može se instalirati samo na motore sa 4 ili 6 cilindara. Uređaj nema alarm povezan s izmjerenim vrijednostima MAP-a.



Slika 6.9. Instalacija senzora za mjerenje MAP-a [4]

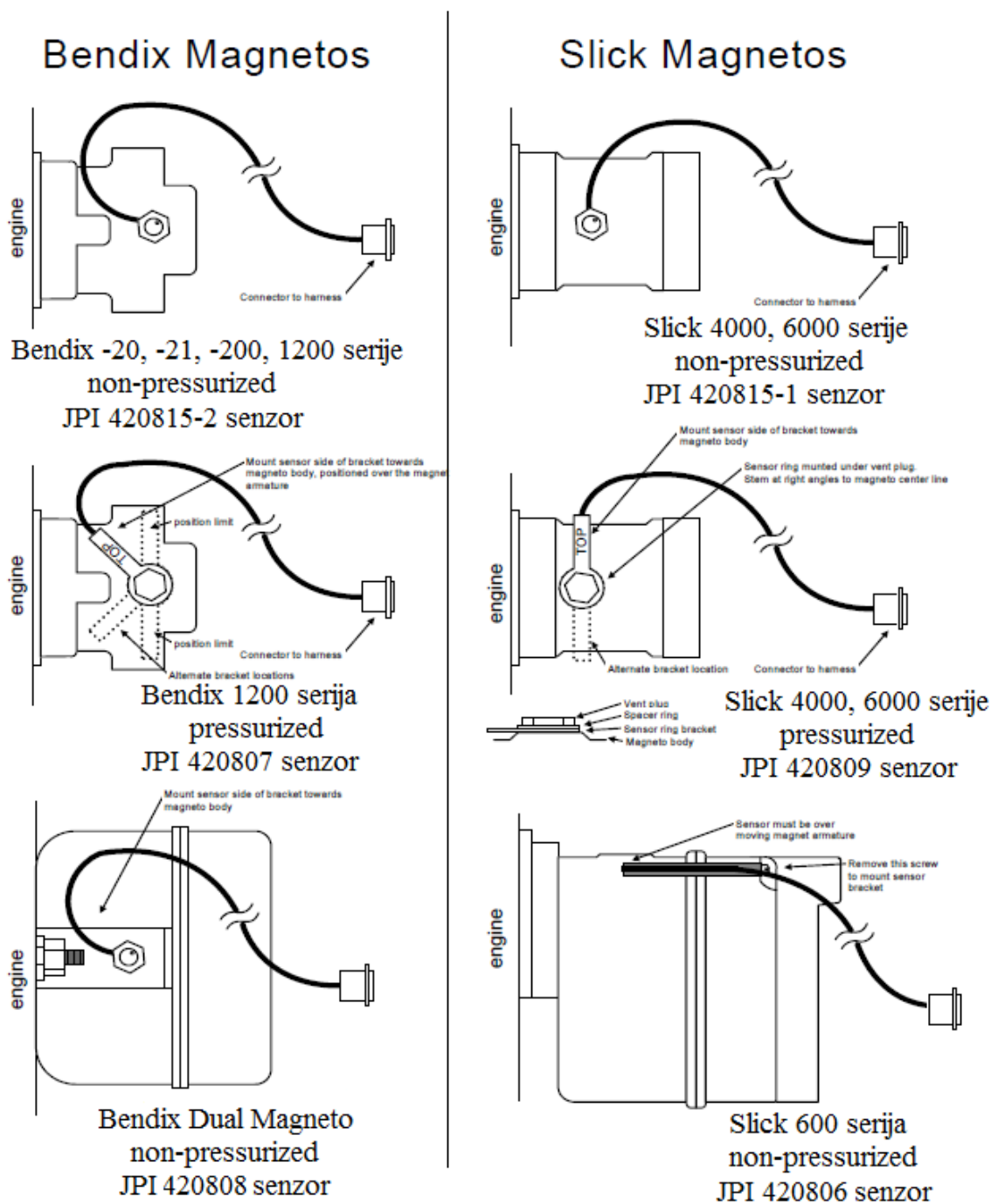
Uz instalaciju, potrebno je provesti i kalibraciju tlaka na vanjski tlak. To se čini unošenjem okolišnog (barometarskog) tlaka. Motor u tom trenutku ne smije biti upaljen. Vrijednosti prikazane na slici (Slika 6.10.) omogućuju računanje „MP faktora“ i ovise o nadmorskoj visini točke mjerenja. Dobivenu vrijednost treba pomnožiti s referentnom vrijednosti tlaka (koja se koristi za kalibraciju tlačnih visinomjera).

Field Elev[ft]	MP FACTOR	1300	0.9539	3200	0.8896	5100	0.8289
-500	1.0182	1400	0.9504	3300	0.8863	5200	0.8258
-400	1.0145	1500	0.9469	3400	0.8830	5300	0.8227
-300	1.0109	1600	0.9435	3500	0.8798	5400	0.8196
-200	1.0073	1700	0.9400	3600	0.8765	5500	0.8165
-100	1.0036	1800	0.9366	3700	0.8733	5600	0.8135
0	1.0000	1900	0.9332	3800	0.8700	5700	0.8104
100	0.9964	2000	0.9298	3900	0.8668	5800	0.8074
200	0.9928	2100	0.9264	4000	0.8636	5900	0.8043
300	0.9892	2200	0.9230	4100	0.8604	6000	0.8013
400	0.9856	2300	0.9196	4200	0.8572	6100	0.7983
500	0.9821	2400	0.9162	4300	0.8540	6200	0.7953
600	0.9785	2500	0.9129	4400	0.8508	6300	0.7923
700	0.9750	2600	0.9095	4500	0.8477	6400	0.7893
800	0.9714	2700	0.9062	4600	0.8445	6500	0.7863
900	0.9679	2800	0.9028	4700	0.8414	6600	0.7833
1000	0.9644	2900	0.8995	4800	0.8382	6700	0.7804
1100	0.9609	3000	0.8962	4900	0.8351		
1200	0.9574	3100	0.8929	5000	0.8320		

Slika 6.10. Računanje "MP faktora" za kalibraciju MAP senzora [4]

6.10. Senzor za mjerenje brzine vrtnje motora

Instalirani RPM senzor ovisi o vrsti magneta koji se koriste za paljenje. Magneti su podijeljeni u 4 skupine koje su prikazane na slici (Slika 6.11.), uz dodatne podjele na *pressurized* i *non-pressurized* magnete, čija uporaba ovisi o postojanju prednabijanja.



Slika 6.11. Ugradnja RPM senzora ovisno o vrsti ugrađenih magneta [4]

Prikazane opcije moguće je ugraditi samo na motore s 4 i 6 cilindara.

Postupci za sve verzije prikazani su na slici (Slika 6.11.).

6.11. Protokomjer goriva

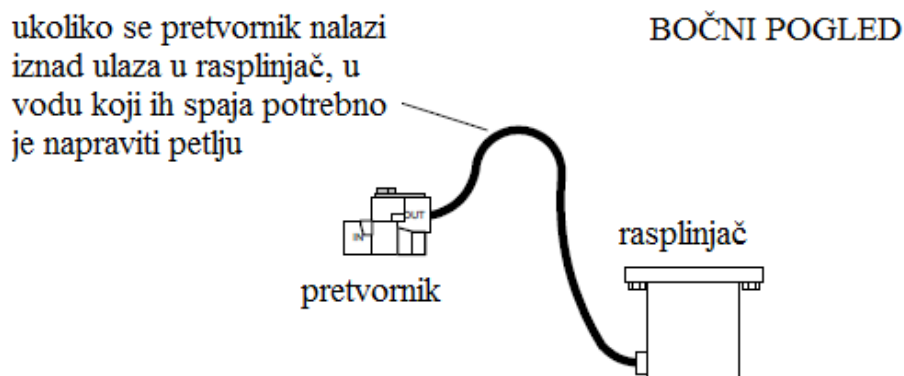
Za mjerenje protoka goriva dostupna su dva tipa protokomjera, čija uporaba ovisi o sustavu za napajanje gorivom koji se koristi. Standardni protokomjer, oznake FXT-201, ugrađuje se ukoliko se u zrakoplovu nalazi sustav za napajanje gorivom pod tlakom. Ako zrakoplov koristi gravitacijski sustav za napajanje, potrebno je odabrati protokomjer oznake FXT-231.

Protokomjer se instalira na sustav za dovođenje goriva u rasplinjač. Potrebno je paziti da oznake na uređaju odgovaraju stvarnom smjeru toka goriva i da visina ugradnje uređaja ne prijeđe visinu ulaza u rasplinjač. Uputa vezana za visinu ugradnje prikazana je na slici (Slika 6.12.), a opisuje postupak ako je konačna visina ugradnje pretvornika iznad ulaza u rasplinjač. Orijentacija protokomjera mora biti takva da vodovi sustava daljinskog prijenosa budu usmjereni prema gore. Ti se vodovi kroz požarni zid provode do mjesta ugradnje prikaznika. Po želji korisnika, vod za vanjsko upozorenje može se povezati s odvojenom lampicom ili generatorom zvučnog signala.

Na upravljačku ploču zrakoplova koji ima ugrađen protokomjer goriva, i to u blizini uređaja EDM, potrebno je postaviti pločice kojima se korisnika upućuje da se kao izvor primarnih podataka o protoku mora koristiti originalni protokomjer i da se za informaciju o preostaloj količini goriva u sustavu ne valja oslanjati na EDM protokomjer. Ova je mjera jedinstvena za parametar protoka goriva.

Na indikatoru uređaja EDM-800 pojavit će se podsjetnik o niskoj preostaloj količini goriva kad god izmjerena vrijednost parametra padne ispod programiranih minimalnih vrijednosti preostalog goriva ili vremena preostalog do postizanja nulte količine goriva.

Rezolucija uređaja za parametar FF je 0.1 L (0.1 Gal.).



Slika 6.12. Uputa za ugradnju pretvornika protoka goriva [4]

7. Prikupljanje i interpretacija podataka

EDM uređaji ne služe samo kao alternativa standardnim zrakoplovnim instrumentima. Njihova je funkcija i praćenje i zapisivanje promjena parametara, kako bi se ti podaci mogli iskoristiti za kasniju analizu.

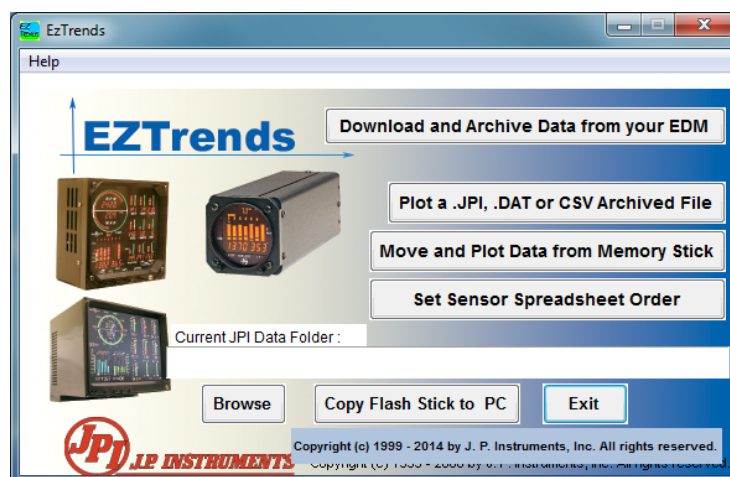
Prije leta, na uređaju je potrebno omogućiti opciju praćenja – to se čini pritiskom na tipke „STEP“ i „LF“ u trajanju od 5 sekundi, dok se na zaslonu ne prikaže riječ „PROGRAM“. Tad se pritiskom tipke „STEP“ treba doći do opcije „END Y“. Ponovnim dužim pritiskom na tipke „STEP“ i „LF“ nastavlja se aktivacija, i ponovnim odabirom tipke „STEP“ dolazi se do upita na zaslonu „RECRD?N“. Tipkom „LF“ to se mijenja u „RECRD?Y“ i time je aktivirana opcija zapisivanja praćenih parametara.

Zapisanim podacima moguće je pristupiti na više načina – kao i na prvim takvim uređajima, postoji mogućnost izravnog povezivanja sustava s prijenosnim računalom putem kabela, a podatke se može prebaciti indirektno na prijenosnu memoriju pa ih onda analizirati na računalu. Korisnik može odabrati spremi sve podatke koji su spremljeni na uređaju, ili samo podatke stvorene od posljednjeg prebacivanja.

Količina podataka koju je moguće spremi na sam uređaj varira u ovisnosti o brzini zapisivanja koju odabire korisnik i o brzini promjene praćenih parametara. Prosječno trajanje memorije je 20 sati, a u slučaju da se memorija uređaja popuni, uređaj je programiran da briše najstarije podatke kako bi se omogućilo zapisivanje novih.

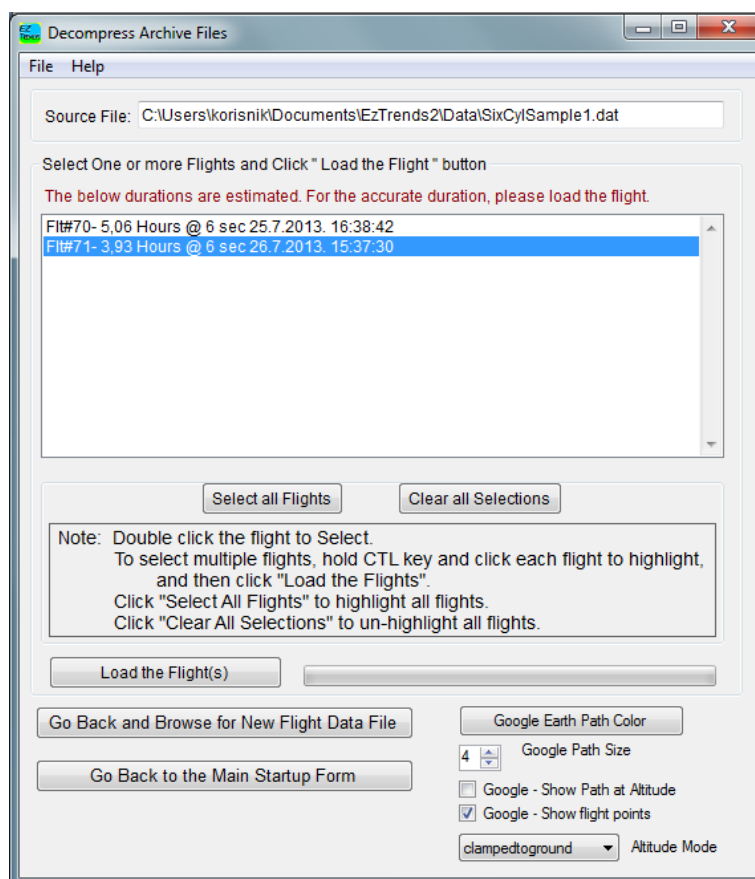
Podaci mogu doći u nekoliko formata, npr. .dat ili .txt. U slučaju .txt datoteke, potrebno je ekstenziju promijeniti u .jpi kako bi se omogućila uporaba datoteke u programu za obradu i grafički prikaz podataka. U tu svrhu, uređaj dolazi s programom „EzTrends“ ili „EzTrends2“. Početno sučelje programa „EzTrends2“ prikazano je na slici (Slika 7.1.).

Izborom opcije „Plot a .JPI, .DAT or CSV Archived File“ moguće je napraviti grafički prikaz zapisanih podataka. Program „EzTrends2“ dolazi s četiri uzorka podataka, od kojih su dva uzorka podaci s jednog motora sa šest cilindara, jedan uzorak su podaci s jednog motora s devet cilindara, a zadnji uzorak su podaci sa dvomotornog aviona. Niti jedan od uzoraka ne predstavlja podatke sakupljene uređajem EDM-800, ali je prikazani postupak identičan za sve uređaje- eventualne razlike mogu se uočiti u različitom broju parametara između EDM-800 i ostalih inačica. U svrhu analize korišten je prvi od dva uzorka šesterocilindarskog motora, koji predstavlja informacije zapisane uređajem EDM-900.



Slika 7.1. Prikaz početnog sučelja programa "EzTrends" [15]

Odabirom te datoteke otvara se sučelje u kojem je moguće odabrati set podataka vezan za određeni let jer, kao što je već rečeno, jedna datoteka može sadržavati informacije o više letova. Sučelje programa je prikazano na slici (Slika 7.2.), a odabrana je opcija koja je označena na slici – „Flt#71- 3,93 Hours @ 6 sec 26.7.2013. 15:37:30“. U imenu te opcije navedeni su redni broj leta, trajanje leta, interval zapisivanja rezultata mjerenja te datum i vrijeme leta.



Slika 7.2. Sučelje na kojem se vrši izbor seta informacija za analizu [15]

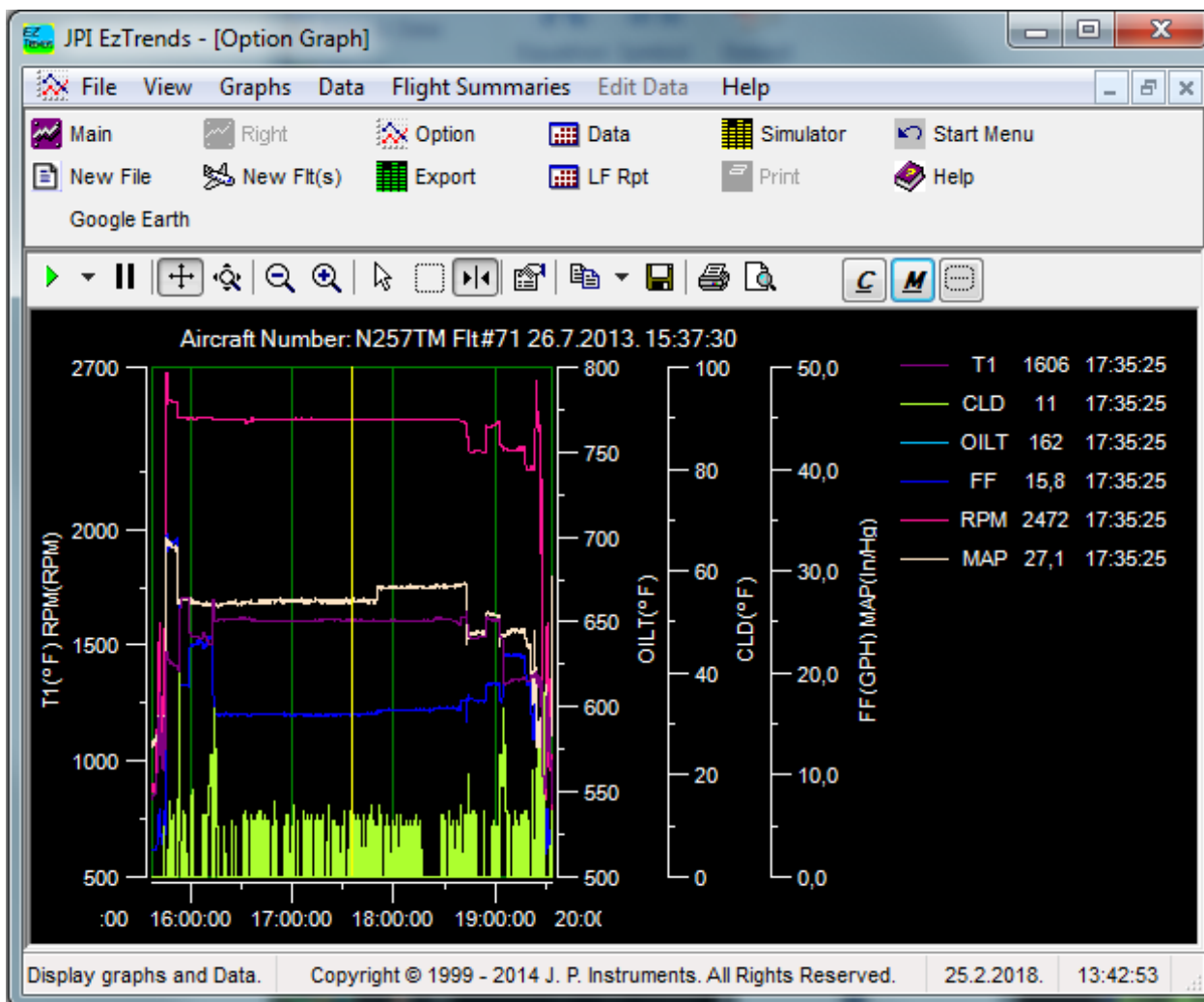
Klikom na „Load the Flight(s)“ program automatski generiraju dijagrami vrijednosti praćenih parametara, prikazani na slici (Slika 7.4). Zbog velikog broja parametara, generiraju se 2 dijagrama. Parametri su navedeni u legendi na desnoj strani dijagrama i označeni različitim bojama.



Slika 7.3. Dijagram promjene "MAIN" skupine parametara motora tijekom eksploatacije [15]

Dijagram na slici (Slika 7.3.) prikazuje promjenu svih EGT, CHT i TIT parametara, tzv. „MAIN“ skupine parametara. U legendi, uz parametre prikazane su i vrijednosti tih parametara za proizvoljno odabrani trenutak leta.

Dijagram na slici (Slika 7.4.) prikazuje promjenu „OPTION“ skupine parametara, koja uključuje jednu od opcija TIT, RPM, FF, temperaturu ulja i dr.



Slika 7.4. Dijagram promjene „OPTION“ skupine parametara motora tijekom eksploatacije [15]

Uz generiranje dijagrama, program nudi i opciju „Simulator“ koja otvara poseban prozor, prikazan na slici (Slika 7.5.), s prikaznikom uređaja EDM-700. Na njemu je moguće pratiti kako bi izgledalo prikazivanje prikupljenih podataka tijekom leta.



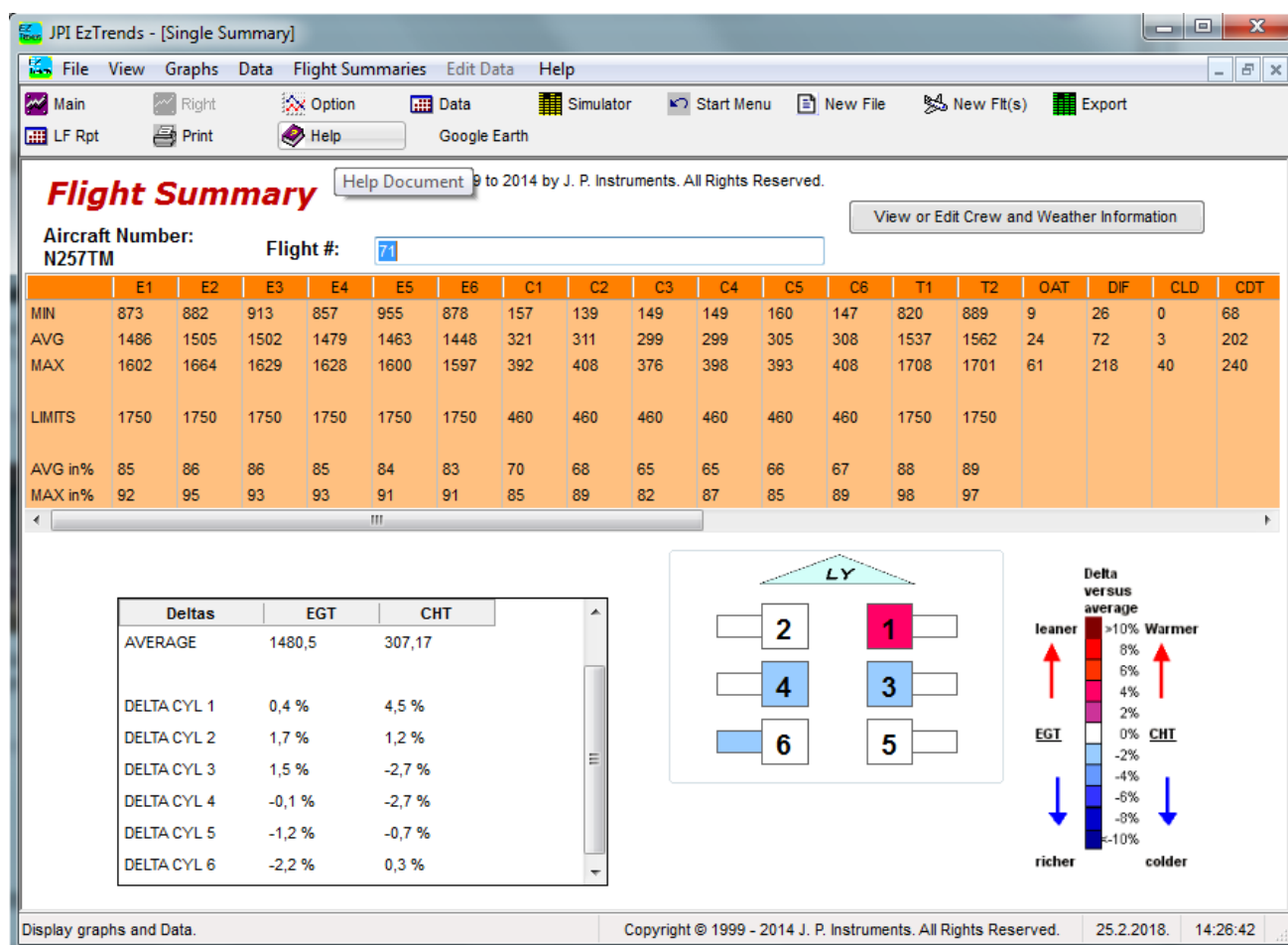
Slika 7.5. Simulator programa EzTrends2, sa sučeljem uređaja EDM-700 [15]

Zajednički prikaz svih podataka moguće je vidjeti odabirom opcije „Data“. Pregled podataka prikazan je na slici (Slika 7.6.). Svaki je korak numeriran i zabilježeni su datum i vrijeme kad je snimljen, a u nastavku su vidljive vrijednosti svakog od parametara. Zabilježeni su i parametri instrumenata za navigaciju i upravljanje letom, npr. SPD, ALT, LAT i LNG.

INDEX	TIME	E1	E2	E3	E4	E5	E6	C1	C2	C3	C4	C5	C6	T1	T2	OAT	DIF	CLD	CDT	IAT	MAP	RPM	HP	FF
471	07.26.13 16:20:56	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	69	15,9
472	07.26.13 16:21:02	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	69	15,9
473	07.26.13 16:21:08	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	16,1
474	07.26.13 16:21:14	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
475	07.26.13 16:21:20	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
476	07.26.13 16:21:26	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
477	07.26.13 16:21:32	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
478	07.26.13 16:21:38	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
479	07.26.13 16:21:44	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
480	07.26.13 16:21:50	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
481	07.26.13 16:21:56	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
482	07.26.13 16:22:02	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
483	07.26.13 16:22:08	1544	1558	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	27,0	2473	71	15,9
484	07.26.13 16:22:14	1544	1564	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	27,0	2473	71	15,9
485	07.26.13 16:22:20	1544	1564	1566	1537	1508	1509	332	315	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	27,0	2473	71	15,9
486	07.26.13 16:22:26	1544	1564	1566	1537	1508	1509	332	319	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
487	07.26.13 16:22:32	1544	1564	1566	1537	1508	1509	332	319	312	305	308	314	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
488	07.26.13 16:22:38	1544	1564	1566	1537	1508	1509	332	319	312	305	308	317	1612	1631	13	58	0	234	221	26,8	2473	71	15,9
489	07.26.13 16:22:44	1544	1564	1566	1537	1508	1503	332	319	312	305	308	317	1612	1631	13	63	0	234	221	26,8	2473	69	15,9
490	07.26.13 16:22:50	1550	1557	1566	1537	1508	1503	332	319	312	305	308	317	1612	1631	13	63	0	234	221	27,0	2473	69	15,9
491	07.26.13 16:22:56	1550	1557	1560	1537	1508	1503	332	322	312	305	308	317	1612	1631	13	57	0	234	221	27,0	2473	69	15,9

Slika 7.6. Izgled ispisa dijela podataka prikupljenih uređajem EDM-900 [15]

Za svaki let moguće je napraviti i pregled opcijom „Flight Summary“. Prikazan ispod na slici (Slika 7.7.), taj pregled nudi ispis minimalnih, maksimalnih i prosječnih vrijednosti parametara, programirane maksimalne vrijednosti te prosječne vrijednosti izražene u postotku maksimalne vrijednosti. Za parametre CHT i EGT nudi konačni prosjek dobiven iz prosječnih vrijednosti za svaki cilindar te odstupanja svakog cilindra od prosječne vrijednosti za sve cilindre.



Slika 7.7. Pregled vrijednosti parametara analiziranog leta [15]

ZAKLJUČAK

Uređaji za praćenje parametara rada motora standardni su dio opreme današnjih putničkih zrakoplova, a njihova je uporaba često obavezna u programima održavanja motora. Razvojem tehnologije omogućeno je da se takvi uređaji ugrade i na klipne motore koji i dalje prevladavaju kao pogonski motori malih zrakoplova.

Na klipne motore primjenjuje se preventivni tip održavanja koji se oslanja na pravilno raspoređene inspekcije kako bi se dobio uvid u stanje motora. Uređaji opisani u ovom radu predstavljaju velik korak naprijed, ne samo kao potpora postojećim sustavima održavanja, već kao alat za aktivno praćenje i predviđanje ponašanja pogonskog sustava, čime se dobiva na sigurnosti klipnih motora.

Šira slika koja se dobije praćenjem trendova ključnih parametara može informirati osoblje za provođenje održavanja o promjenama koje nastaju zbog eksploatacije, ali može i pružiti uvid pilotima kako se različiti režimi pri eksploataciji odražavaju na dugoročno stanje motora. Iz svega prethodno navedenog u ovom radu može se jednostavno zaključiti kako bolje poznavanje sustava izravno vezano na bolje korištenje sustava.

Vrijednost informacija dobivenih korištenjem uređaja za praćenje rada motora ne staje na korisnicima zrakoplova. Otisak koji uporaba fosilnih goriva ostavlja na okoliš sve je bitniji, i lakše ga je procijeniti ukoliko je dostupna veća količina relevantnih informacija, tako pomažući nastojanjima da se taj otisak smanji.

LITERATURA

- [1] Lulić, Z., Mahalec, I., Kozarac, D., Klipni motori, interna skripta, FSB, listopad 2010. (ver. 5)
- [2] Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories, EPA, 19.11.2015.
- [3] Sraga, V., Lulić, Z., Emissions from General Aviation in the Republic of Croatia, 2017.
- [4] EDM-800, Instrument Installation Manual, siječanj 2009. (rev. E)
- [5] Wikipedija, <https://en.wikipedia.org>, datum pristupa: 23.02.2018.
- [6] Sporty's Student Pilot News, <https://studentpilotnews.com>, datum pristupa: 20.02.2018.
- [7] Flight Illusion, <https://www.flightillusion.com>, datum pristupa: 18.02.2018.
- [8] Bucak, T., Zorić, I., Zrakoplovni instrumenti i prikaznici, Sveučilište u Zagrebu, FPZ, ISBN 953-6790-67-X, Zagreb, 2002.
- [9] J.P. Instruments, <https://www.jp instruments.com>, datum pristupa: 23.02.2018.
- [10] Aircraft Spruce, <https://www.aircraftspruce.com>, datum pristupa: 25.02.2018.
- [11] List of EASA Supplemental Type Certificates, EASA, 31.01.2018.
- [12] CCAA, Naredba o zrakoplovnoj sigurnosti ASO-2017-001, 16.06.2017. (rev. 0)
- [13] CCAA, Naredba o zrakoplovnoj sigurnosti ASO-2013-001, 16.06.2017. (rev. 1)
- [14] The Sensor Connection, <http://thesensorconnection.com>, datum pristupa: 25.02.2018.
- [15] Računalni program „JPI EzTrends2“, verzija 2.2., J.P. Instruments, Inc.